

Traitement chirurgical de l'insuffisance coronaire

JM Grinda
JN Fabiani

Résumé. – Si le traitement chirurgical de l'insuffisance coronaire débuta avec le xx^e siècle, l'ère moderne de la chirurgie directe des artères coronaires, initiée par les travaux d'Effler et Favallero sur les pontages saphènes en 1967, fut tributaire de deux découvertes essentielles : la circulation extracorporelle et la coronarographie. Les années qui suivirent connurent un formidable essor de cette chirurgie de pontage, qui s'imposa comme le traitement de référence de l'insuffisance coronaire. Peu de traitements chirurgicaux firent l'objet d'autant d'études et ce d'autant plus que Gruentrig amorçait dès 1977 le problème du choix entre technique de revascularisation chirurgicale ou endoluminale. Après l'« ère artérielle », pendant laquelle la supériorité des greffons mammaires était démontrée, débute l'« ère de la chirurgie dite moins invasive » : moins invasive par la réalisation de pontage sans circulation extracorporelle ou moins invasive par la réalisation de pontages par des voies d'abord limitées, voire à thorax fermé. Ces bouleversements dans nos habitudes chirurgicales bien établies ont pour origine des innovations technologiques telles que la chirurgie vidéoassistée et la robotique dont l'éventuel bénéfice pour les patients est en cours d'évaluation.

© 2002 Editions Scientifiques et Médicales Elsevier SAS. Tous droits réservés.

Mots-clés : revascularisation chirurgicale, revascularisation endoluminale, vidéoassistance, robotique.

Introduction

Que de progrès techniques, d'avancées technologiques et de développement clinique pour évoluer de la dénervation cardiaque aux pontages coronaires, pour apporter la preuve de la supériorité des greffons mammaires, d'abord de l'un puis des deux, pour voir l'éclosion des techniques dites moins invasives jusqu'à l'introduction de la robotique et la réalisation de pontages coronaires sans utiliser de circulation extracorporelle (CEC) ou sans même ouvrir le thorax ! Peu de traitements chirurgicaux ont fait l'objet d'autant d'études que celui de l'insuffisance coronarienne. De leur pertinence et de la rigueur de la technique chirurgicale est issu le succès des pontages coronaires qui se sont imposés comme le traitement de référence de l'insuffisance coronarienne. Trente mille patients sont opérés de pontages coronaires chaque année en France. En expansion, les revascularisations myocardiques endoluminales, plutôt que d'être opposées à la chirurgie, montrent, s'il en était besoin, l'intérêt d'une prise en charge médicochirurgicale concertée afin de réaliser chez chaque patient la technique de revascularisation la plus adaptée.

Historique

Les travaux de recherche sur le traitement chirurgical de l'insuffisance coronarienne débutèrent avec le xx^e siècle. Les premiers s'intéressèrent au système neurovégétatif, aboutissant au concept de dénervation du cœur. Les seconds s'intéressèrent à la possibilité d'une revascularisation indirecte du myocarde, introduisant le concept physiopathologique de la diminution de la douleur angineuse au moyen d'une augmentation du flux artériel

parvenant au myocarde. Les troisièmes, qui initièrent l'aire moderne de la chirurgie directe des artères coronaires, furent tributaires de deux découvertes essentielles : la CEC et la coronarographie.

DÉNervation DU CŒUR

Jonnesco présenta en 1920, à l'Académie de médecine de Paris, les résultats de ses travaux sur le traitement de l'angine de poitrine par résection de la chaîne sympathique cervicale gauche, introduisant le concept de dénervation cardiaque dont l'objectif était double : antalgique et suppression du vasospasme coronaire^[57].

Suivirent les travaux de Leriche et Fontaine (1925) sur la stellectomie, ceux d'Arnulf (1941) sur la résection des plexus pré- et sous-aortiques^[63]. La sympathectomie cervicothoracique, limitée au pôle inférieur du ganglion stellaire afin d'éviter l'apparition d'un syndrome de Claude Bernard-Horner, mais étendue jusqu'aux quatre premiers ganglions thoraciques, assurait la dénervation cardiaque (White, 1934)^[107].

REVASCULARISATION MYOCARDIQUE INDIRECTE

L'augmentation de l'apport de sang oxygéné au myocarde était réalisée sans aborder directement les artères coronaires par apposition sur le myocarde soit du grand épiploon (O'Shaughnessy, 1929)^[75] soit du muscle grand pectoral pédiculé après abrasion du péricarde viscéral (Beck, 1935)^[111]. Vineberg, en 1950, prôna l'implantation de l'artère mammaire interne libérée et mobilisée dans un tunnel créé dans l'épaisseur myocardique, avec l'espoir d'induire une néoformation capillaire entre l'artère implantée et les artérioles coronaires^[105].

CHIRURGIE DIRECTE DES ARTÈRES CORONAIRES

Deux découvertes essentielles furent nécessaires au développement de ce nouveau concept de chirurgie directe des artères coronaires :

– la mise au point de la CEC par Gibbon en 1953 ;

Jean-Michel Grinda : Praticien hospitalier.
Jean-Noël Fabiani : Professeur des Universités.
Service de chirurgie cardiovasculaire, hôpital européen Georges Pompidou, 20, rue Leblanc, 75015 Paris, France.

– la mise au point de la coronarographie par Sones en 1958.

La réalisation d'une dérivation par interposition d'un greffon en aval de la lésion coronaire, le pontage coronarien, s'imposa, au détriment de l'abord direct de la lésion coronaire elle-même (l'endartériectomie-*patch* d'élargissement).

La première endartériectomie coronaire fut réalisée par Bailey en 1956 sans CEC [7]. Dubost réalisa en 1960, pour la première fois, une endartériectomie de l'ostium de l'artère coronaire droite sous CEC [34], suivi en 1961 par Seening sur l'interventriculaire antérieure (IVA) (endartériectomie avec *patch* d'élargissement sous CEC). Kossolov réalisa le premier pontage mammaire interventriculaire antérieur en 1964 [62]. Mais ce sont les travaux d'Effler et Favaleo sur les pontages saphènes en 1967 qui marquent la date officielle du début de la chirurgie de revascularisation coronaire [40]. Dès 1968, Green rapportait l'intérêt du greffon mammaire pédiculé pour la revascularisation de l'IVA [48] et les premiers pontages séquentiels furent réalisés dès 1971. En 1977, Gruentrig amorçait le problème du choix entre technique de revascularisation chirurgicale ou endoluminale.

Anatomie

Première branche collatérale de l'aorte ascendante, les artères coronaires sont ainsi nommées du fait de leur trajet dans les sillons interventriculaires et auriculoventriculaires qui leur donnent l'aspect de deux couronnes perpendiculaires l'une par rapport à l'autre (fig 1).

CORONAIRE GAUCHE

■ Tronc commun de la coronaire gauche (TCG)

Né de l'ostium coronaire gauche situé dans le sinus de Valsalva postérogauche, le TCG a un diamètre de 4 à 5 mm et chemine sur un court trajet (de 10 à 20 mm) entre l'artère pulmonaire et l'oreillette gauche avant de se diviser en IVA et en artère circonflexe (CX). Dans un tiers des cas, il s'agit d'une trifurcation (artère bissectrice ou première diagonale).

■ Artère interventriculaire antérieure

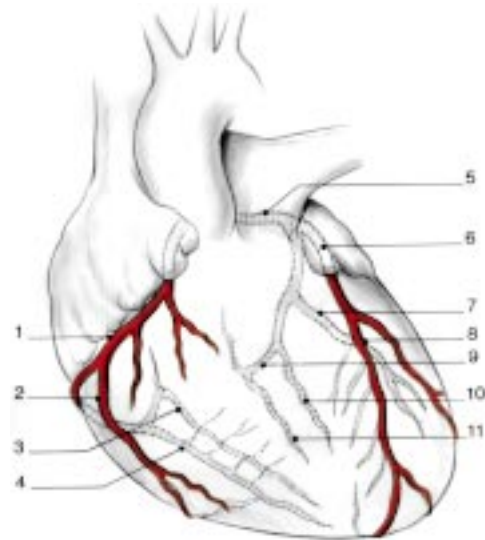
Elle se poursuit dans la direction du TCG et chemine dans le sillon interventriculaire antérieur. Elle donne naissance à deux types de branches collatérales : les artères septales et les artères diagonales. Les artères septales plongent dans le septum interventriculaire. Leur nombre et leur taille varient. La première artère septale est généralement la plus importante et assure la vascularisation des deux tiers antérieurs du septum interventriculaire. Les artères diagonales, généralement au nombre de trois, cheminent sur la face antérolatérale. Dans 80 % des cas, l'IVA contourne la pointe du cœur pour se terminer dans le sillon interventriculaire postérieur. Par convention, l'IVA est divisée en trois segments : un segment proximal en amont de la première septale, un segment moyen jusqu'aux branches de division diagonales et un segment distal en aval.

■ Artère circonflexe

D'une direction quasiment perpendiculaire à celle du TCG, la CX chemine dans le sillon auriculoventriculaire gauche. Son importance est variable en fonction de la dominance ou non de la coronaire droite. Elle donne naissance à deux ou trois branches collatérales qui vascularisent la face latérale du ventricule gauche : les artères marginales ou latérales. Généralement, la CX distale n'atteint pas la croix du cœur. En cas de dominance gauche, la CX se poursuit sur la face postérieure du ventricule gauche par les artères rétroventriculaires.

CORONAIRE DROITE (CD)

Née de l'ostium coronaire droit dans le sinus de Valsalva antérodroit, la CD chemine dans le sillon auriculoventriculaire droit où trois segments lui sont décrits.



1 Représentation schématique des artères coronaires.

1. Coronaire droite moyenne ; 2. marginale droite ; 3. rétroventriculaire (diaphragmatique, postérolatérale droite) ; 4. interventriculaire postérieure ; 5. tronc commun gauche ; 6. interventriculaire antérieure proximale ; 7. première marginale ; 8. interventriculaire antérieure moyenne ; 9. circonflexe distale ; 10. deuxième marginale ; 11. postérolatérale gauche.

■ Segment 1

C'est le trajet horizontal court entre l'auricule droit et l'extension pariétale infundibulaire jusqu'au genu superius. Dans ce trajet, la CD donne des branches collatérales pour l'oreillette (artère sinusale) et pour le ventricule (artère infundibulaire).

■ Segment 2

La CD a ici un trajet vertical et long jusqu'au bord droit du cœur. Elle donne des branches collatérales (artère marginale du bord droit).

■ Segment 3

La CD décrit un coude à angle droit jusqu'à la croix du cœur.

En circulation équilibrée, la terminaison de la CD se fait à la croix du cœur où elle se divise en artère interventriculaire postérieure (IVP) dans son prolongement et artère rétroventriculaire (RVP).

DOMINANCE, COLLATÉRALITÉ ET DISTRIBUTION

■ Notion de dominance

– CD dominante (50 %) : la CD donne l'IVP et des branches postérolatérales gauches, l'artère CX se terminant en marginale gauche.

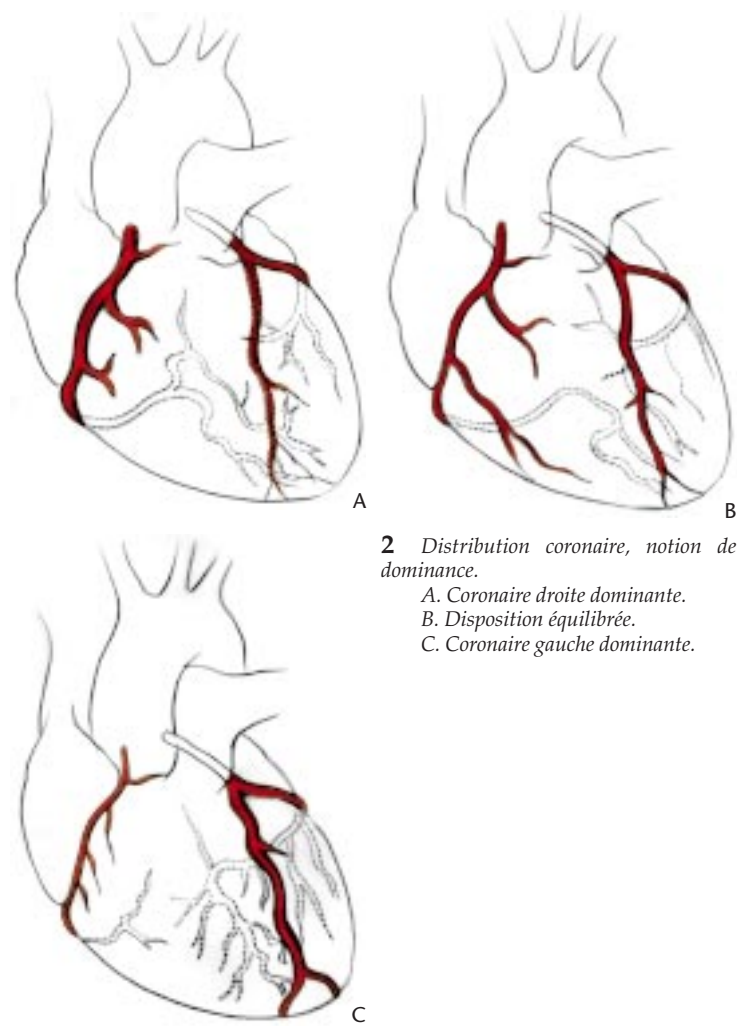
– Disposition équilibrée (40 %) : la vascularisation de la face postéro-inférieure est assurée par les deux artères ; la CD donne l'IVP et la CX donne les branches postérolatérales.

– Coronaire gauche dominante (10 %) : l'artère CX donne l'IVP et toutes les branches postérolatérales de la paroi inférieure du ventricule gauche ; la CD est alors hypoplasique et se distribue seulement à la face antérieure du ventricule droit (fig 2).

■ Circulation collatérale

Traditionnellement considérée comme une vascularisation de type terminal, la circulation coronaire connaît néanmoins un certain degré de collatéralité susceptible de se développer lors d'une coronaropathie. Cette collatéralité peut être de différents types :

– collatéralité hétérocoronaire : entre CD et IVA, entre CD et CX, entre CX et IVA ;



2 Distribution coronaire, notion de dominance.

A. Coronaire droite dominante.
B. Disposition équilibrée.
C. Coronaire gauche dominante.

- collatéralité homocoronaire : elle se fait via les vasa vasorum ou bien via un trajet épicaudique ;
- collatéralité extracoronaire : notamment les anastomoses coronarobronchiques.

■ Territoire de distribution

Territoire de la coronaire droite

- Oreillette droite et septum interauriculaire.
- Ventricule droit.
- Tiers inférieur du septum interventriculaire.
- Une partie de la paroi postéro-inférieure du ventricule gauche.
- Pilier postéromédian de la valve mitrale.

Territoire de l'interventriculaire antérieure

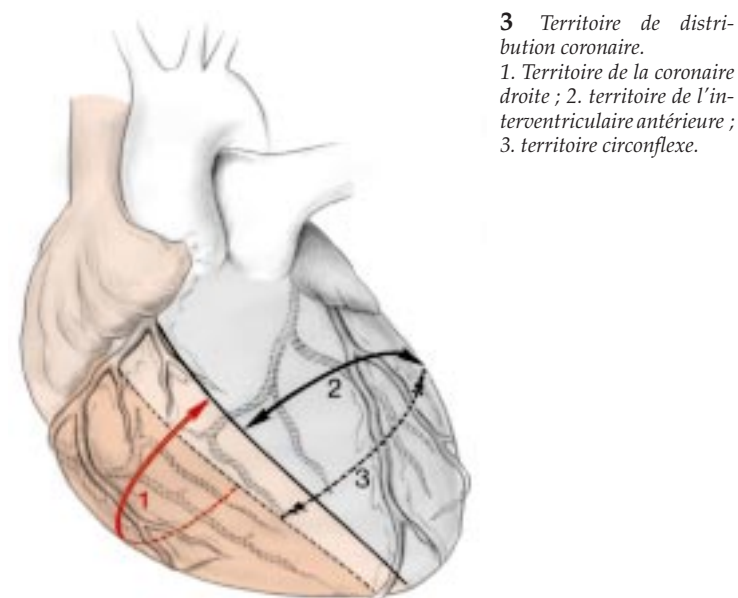
- Deux tiers antérieurs du septum interventriculaire.
- Paroi antérolatérale du ventricule gauche.
- Pilier antérolatéral de la valve mitrale.
- Apex du ventricule droit.
- Une partie du pilier antérolatéral de la tricuspide.

Territoire de l'artère circonflexe

- Plus ou moins le pilier antérolatéral de la mitrale.
- Plus ou moins le pilier postéromédian de la mitrale.

Vascularisation des piliers de la valve mitrale

- Pilier antérieur : vascularisé par l'IVA et la CX (peu de risque ischémique).



3 Territoire de distribution coronaire.

1. Territoire de la coronaire droite ; 2. territoire de l'interventriculaire antérieure ; 3. territoire circonflexe.

- Pilier postérieur : vascularisé souvent soit par la CD, soit par la CX (vascularisation unique, risque ischémique plus important) (fig 3).

Expertise de l'atteinte coronarienne

La décision thérapeutique devant une insuffisance coronarienne repose sur l'étude de l'atteinte coronaire et sur l'évaluation globale du patient qui sera abordée dans le bilan préopératoire. L'indication de revascularisation myocardique suppose l'étude préalable de quatre points :

- la mise en évidence d'une ischémie myocardique ;
- la détermination de la fonction ventriculaire gauche ;
- l'évaluation de la viabilité myocardique ;
- l'étude anatomique du réseau coronaire.

Ainsi, l'expertise de l'atteinte coronaire est-elle à la fois fonctionnelle et anatomique.

ISCHÉMIE MYOCARDIQUE

Plus que l'expression clinique de l'ischémie, c'est son intensité et son étendue qui comptent. Dans cette recherche, l'ischémie est provoquée par un effort ou stress gradué et contrôlé.

■ Épreuve d'effort

L'épreuve d'effort classique explore les conséquences électriques de l'ischémie. La traduction électrique de l'ischémie se fait par un sus-décalage du segment ST. Sa simplicité et son faible coût en font un examen de première intention par excellence.

■ Scintigraphie au thallium

Elle détecte les anomalies de perfusion myocardique, traduction métabolique de l'ischémie. Soit couplée à une ergométrie, soit sous dipyridamole, l'ischémie se traduit par une zone d'hypofixation au thallium [31].

■ Échographie

Elle permet l'évaluation de la dysfonction myocardique, traduction mécanique de l'ischémie. Soit couplée à une ergométrie mais

essentiellement, actuellement, couplée à un stress pharmacologique (dobutamine), l’ischémie se traduit par une zone d’hypocontractilité. De plus, cet examen a une valeur localisatrice de l’ischémie.

FONCTION VENTRICULAIRE GAUCHE

Malgré les critiques qui peuvent lui être faites, la fraction d’éjection ventriculaire gauche (FE) calculée lors de l’étude anatomique (cf infra, Ventriculographie) reste l’examen de référence. L’échographie permet le calcul de la fraction de raccourcissement qui, en l’absence d’anomalie segmentaire, reflète la fonction ventriculaire gauche globale. La mesure isotopique de la FE reste une alternative d’exception.

VIABILITÉ MYOCARDIQUE

L’étude de la viabilité myocardique est justifiée par le concept de myocarde hibernant basé sur la notion que les myocytes, mécaniquement inactifs, peuvent être métaboliquement et structurellement suffisamment sains pour retrouver une activité contractile sous réserve d’une perfusion efficace. En termes pratiques, le problème de la viabilité myocardique se pose tout particulièrement dans les cas de cardiomyopathie ischémique.

■ Scintigraphie au thallium

La viabilité myocardique se traduit par une fixation du thallium [13]. Elle est appréciée soit selon une technique de « repos de redistribution » (la viabilité se traduisant par une fixation 4 heures après l’injection initiale faite au repos), soit selon une technique de réinjection (en complément de l’acquisition lors de la première injection et d’une acquisition de redistribution à la quatrième heure, une réinjection de thallium permet une troisième acquisition retardée).

■ Écho de stress

La viabilité se traduit par une amélioration de la contraction des zones hypo- ou akinétiques par mobilisation des réserves contractiles sous dobutamine à faibles doses [9]. Des scores sont actuellement proposés pour juger de l’opportunité d’une revascularisation en fonction du nombre de segments viables sous échostress. Une confrontation échocoronarographique est souhaitable pour déterminer si un territoire correspondant à une coronaire jugée moyennement accessible à un geste chirurgical lors de la coronarographie est viable ou non afin de guider le choix stratégique du chirurgien.

■ Tomographie à émission de positrons (TEP)

La viabilité se traduit par la persistance d’une activité métabolique dans les zones ischémiques caractérisée par la captation d’un marqueur (fluorodésoxyglucose marqué au fluor 18) [13, 78].

ANGIO-CORONARO-VENTRICULOGRAFIE

Introduite par Sones en 1958 [90], l’angiographie coronaire n’a cessé de se perfectionner et de se développer pour devenir, outre l’examen diagnostique, le préambule impératif à toute décision de revascularisation myocardique, qu’elle soit chirurgicale ou endoluminale.

■ Coronarographie

Incidence

Les différentes incidences coronarographiques sont rapportées dans le tableau I.

Topographie des lésions

Les lésions coronaires peuvent se répartir sur les trois axes coronaires : IVA, CX et CD (chacun étant divisé en segments coronarographiques). On parle donc de lésions mono-, bi- ou

Tableau I. – Incidences coronarographiques.

Incidence	Permet la visualisation de :
Coronaire gauche	
Face	Tronc commun
OAD 30°	Longitudinale de l’IVA et de la CX
OAD 30° + caudale 20°	IVA et CX proximale
OAD 15° + craniale 15°	IVA
OAG 60° + craniale 20°	IVA, septales, diagonales
OAG 50° + caudale 30°	Tronc commun + départ de IVA et CX
Profil	IVA distale et branches de la CX
OAG 120° + craniale 20°	Tronc commun et IVA proximale
Coronaire droite	
Profil	Segment II
OAG 45°	Trois sements de la CD ± droite distale
OAD 30°	Segment II et revascularisation de la CG

OAD : oblique antérieure droite ; OAG : oblique antérieure gauche ; IVA : artère interventriculaire antérieure ; CX : artère circonflexe ; CD : coronaire droite ; CG : coronaire gauche.

Tableau II. – Classification du flux coronaire antérograde selon le Trombolysis in Myocardial Infarction Trial (TIMI) [100].

Grade TIMI 0	Absence complète de flux au-delà de l’obstruction
Grade TIMI 1	Passage du produit de contraste au-delà du site sténosé, mais sans opacification complète du lit d’aval. Le produit de contraste paraît « suspendu » en aval de la sténose
Grade TIMI 2	Passage du produit de contraste au-delà de la sténose avec opacification complète du lit d’aval. Toutefois, la vitesse d’imprégnation du produit de contraste au-delà de la sténose et sa vitesse de lavage sont nettement ralenties par rapport à des segments équivalents
Grade TIMI 3	Imprégnation antérograde et lavage du produit de contraste au-delà de la sténose aussi rapides que ceux de territoires non sténosés

tritronculaires. Une lésion du TCG, en cas de circulation gauche dominante, est considérée comme une lésion tritronculaire. En cas de circulation de dominance droite, une lésion de l’IVA associée à une lésion de la CD est considérée comme une lésion tritronculaire.

Significativité des lésions coronaires

Les pièges que sont la surimposition d’images, les lésions ostiales, les vasospasmes et les injections non parfaitement sélectives ou insuffisantes doivent être écartés avant d’estimer la sévérité d’une lésion coronaire. Les sténoses sont caractérisées par une diminution des diamètres, en retenant que du point de vue hémodynamique c’est la réduction de surface qui importe. Une réduction de diamètre de 75 %, 50 %, 30 %, réduit la surface respectivement de 90 %, 75 % et 50 %. Pour les troncs principaux, une lésion diminuant de 70 % la surface est significative. C’est donc à partir d’une réduction du diamètre de la lumière de 50 % que l’on parle de sténose sévère. Au TCG, une lésion diminuant de 50 % la surface est considérée comme significative.

Étude qualitative des lésions coronaires

Associée à l’étude quantitative du degré de sténose, l’aspect même de la lésion participe à la notion de sévérité lésionnelle. Il en est ainsi des lésions longues et régulières, excentrées, anfractueuses, situées sur une bifurcation ou sur une angulation de la coronaire.

• Flux antérograde

Issue des techniques de thrombolyse de l’infarctus, la classification résumée dans le tableau II permet d’apprécier le flux à travers une sténose coronaire [100].

• Collatéralité

La classification la plus utilisée, quoique relativement grossière, est celle rapportée par Rentrop et al [82] (tableau III).

• Complications de la coronarographie

Quoique rares, ces complications rappellent le risque potentiel de toute exploration invasive. Les cas colligés par la Society For Cardiac Angiography and Intervention [73] sont rapportés dans le tableau IV.

Tableau III. – Classification du degré de collatéralité selon Rentrop ^[82].

Grade 0	Aucune collatéralité visible
Grade 1	Imprégnation de collatérales du vaisseau suppléé, sans aucun remplissage du segment épicardique
Grade 2	Remplissage partiel du segment épicardique
Grade 3	Imprégnation complète du segment épicardique

En cas de collatéralité provenant des deux artères, le grade de collatéralité correspond à la somme du grade pour chaque artère de suppléance, sans dépasser le grade 3.

Tableau IV. – Complications des cathétérismes diagnostiques (Registry of the Society for Cardiac Angiography and Interventions) ^[73].

	1984-1987 n = 222 537	1990 n = 59 792
Décès (%)	0,10	0,11
Infarctus (%)	0,06	0,05
Accident vasculaire cérébral (%)	0,07	0,07
Allergie à l'iode (%)	0,23	0,37
Complications vasculaires (%)	0,46	0,43
Troubles du rythme (%)	0,47	0,38

■ **Ventriculographie**

La ventriculographie permet une analyse quantitative et qualitative de la fonction ventriculaire gauche.

Analyse qualitative

Elle consiste en l'analyse de la cinétique des différentes parois ventriculaires. La paroi ventriculaire gauche est subdivisée en dix segments. En chacun de ces segments, la cinétique peut être normale, hypokinétique ou akinétique, voire dyskinétique (fig 4).

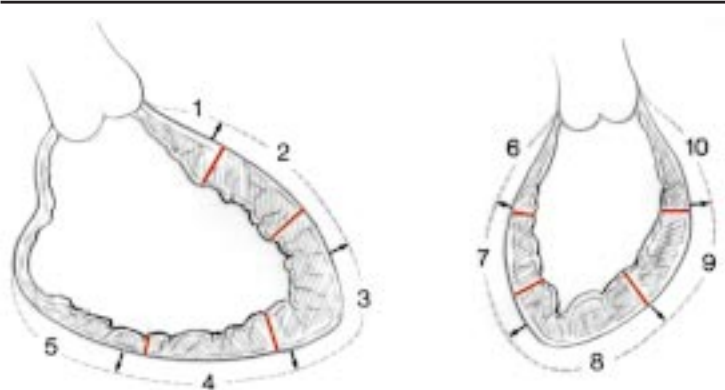
Analyse quantitative

Elle repose sur une estimation des valeurs du ventricule en télésystole et télédiastole, permettant le calcul de la FE. Une analyse quantifiée de la contractilité segmentaire est aussi réalisable.

Résultats des grandes études : chirurgie versus angioplastie

Afin d'évaluer l'efficacité respective d'une revascularisation myocardique par chirurgie ou par angioplastie, plusieurs études prospectives, randomisées, ont été réalisées. La présentation et les résultats ^[52] de ces études ^[17, 28, 29, 36, 37, 46, 69, 79, 80, 87, 104, 108] sont résumés dans le tableau V issu des recommandations de l'American College of Cardiologie/American Heart Association task force (ACC/AHA) ^[3]. Si elles représentent un indéniable progrès dans l'évaluation des techniques, elles présentent néanmoins d'importantes limites.

- Les effectifs sont peu importants. Trois études comprennent des effectifs supérieurs à 1000 patients (CABRI, BARI, RITA), les autres, des effectifs de l'ordre de la centaine.
- Dans la plupart de ces études, la proportion de patients inclus est inférieure à 10 %, voire 5 % des patients évalués. Les auteurs ont ainsi sélectionné les patients chez lesquels chirurgie et angioplastie pouvaient être raisonnablement réalisées avec une chance de succès comparable. Il serait donc hasardeux, à partir des résultats obtenus chez moins de 10 % des patients, d'adapter des pratiques médicales à l'ensemble des coronariens.
- Le « design » de certaines études menées en « intention de traiter » fait abstraction des interventions chirurgicales secondaires chez les patients assignés à un traitement médical initial dans l'analyse globale des résultats.



4 Systématisation de l'interprétation qualitative de la ventriculographie radiologique dans les incidences oblique antérieure droite à 30° et oblique antérieure gauche à 60°.

1. Antérobasal ; 2. antérolatéral ; 3. apical ; 4. diaphragmatique ; 5. postérolatéral ; 6. septal basal ; 7. septal apical ; 8. postérolatéral ; 9. inférolatéral ; 10. supérolatéral.

- Le recul de ces différentes études est pour l'instant très insuffisant.
- Ces études sont parfois dépassées par l'évolution des techniques et des progrès technologiques lorsqu'elles ne prennent pas en compte l'impact des endoprothèses coronaires ou lorsqu'elles comparent indifféremment pontages veineux et artériels.

L'intérêt d'une revascularisation myocardique chirurgicale dans l'angor stable a tout d'abord été étudié par rapport au traitement médical dans les études CASS, VETERANS et la méta-analyse YUSSUF. Globalement, la chirurgie améliorait le pronostic en présence d'une lésion du tronc commun, d'une lésion proximale de l'IVA, de lésion tritronculaire et ce d'autant plus en présence d'une dysfonction ventriculaire gauche. Par la suite, les différentes études CABRI, BARI, GABI, RITA et EAST ont montré que, par rapport à la chirurgie, l'angioplastie ne modifiait pas le pronostic et exposait plus souvent aux revascularisations itératives. L'étude BARI montrait la supériorité de la chirurgie chez le patient diabétique. Des études prenant en compte l'impact des endoprothèses chez le tritronculaire sont actuellement en cours (SOS ARTS).

Dans l'angor instable, de la même manière, les études VETERANS montraient la nécessité d'une revascularisation chirurgicale qui améliorait le pronostic, notamment en cas d'atteinte tritronculaire ou proximale et de dysfonction ventriculaire gauche. L'étude du bénéfice respectif de la chirurgie et de l'angioplastie dans l'angor instable est encore plus aléatoire. En effet, dans les différentes études, la proportion de patients en angor instable varie d'une manière importante, 15 % dans CABRI, 59 % dans RITA, 83 % dans ERACI mais qui ne comporte que 127 patients inclus. Les méta-analyses de Pocock et de Sim, incluant de plus les études du Toulouse trial, du Lausanne trial, ainsi que GABI, EAST et MASS, ne montraient pas de différence entre l'angioplastie et la chirurgie en termes de mortalité et de survenue d'infarctus à la phase hospitalière.

Indications

Les dernières recommandations de 1999 de l'ACC/AHA ^[3] ont reprécisé les indications de la revascularisation chirurgicale. Ces recommandations utilisent une classification que l'on peut résumer comme suit :

- classe I : indication formelle ;
- classe II A : indication classique ;
- classe II B : indication possible.

Tableau V. – Présentation et résultats comparés des différentes grandes études sur le traitement de l'insuffisance coronarienne (issus des recommandation de l'American College of Cardiology/American Heart Association task force ^[3]).

	Description des séries étudiées							Résultats immédiats			Résultats à moyen terme				
Étude	C	Pts Scr	pts	Âge femme %	MT % TI %	Critère de jugement		Décès	IDM	PAC U	FU	Décès	IDM	Angor	Redux T//ATL/PAC
ERACI	1	1 409	127	58 (13 %)	100 % (45 %)	D, IDM, A, R	ATL PAC	1,5 4,6	6,3 6,2	1,5	1	9,5 4,7	7,8 7,8	4,8 3,2	37 // 14/22 6 // 3/3
BARI	?	25 200	1 792	61 (26 %)	100 % (43 %)	D	ATL PAC	1,1 1,3	2,1 4,6	6,3	5	13,7 10,7	21,3 19,6	- -	54 // 34/31 8 // 7/1
EAST	1	5 118	392	62 (26 %)	100 % (40 %)	D, IDM, T	ATL PAC	1 1	3 10,3	10,1	3	7,1 6,2	16,6 19,6	20 12	54 // 41/22 13 // 13/1
GABI	8	8 622	359	59 (20 %)	100 % (?)	A	ATL PAC	1,1 2,5	2,3 8	8,5	1	2,6 6,5	4,5 9,4	29 26	44 // 27/21 6 // 5/1
RITA	16	27 975	1 014	57 (19 %)	55 % (12 %)	D, IDM	ATL PAC	0,8 1,2	3,5 2,4	4,5	2,5	3,1 3,6	6,7 5,2	31,3 21,5	31 // 18/19 4 // 3/1
CABRI	26	-	1 054	60 (22 %)	100 % (40 %)	D, A	ATL PAC	1,3 1,3	- -	3,3	1	3,9 2,7	4,9 3,5	13,9 10,1	36 // 21/18 9 // 6/1
Toulouse	1	-	152	67 (23 %)	???? ??	A	ATL PAC	1,3 1,3	3,9 6,6	3,9	5	13,2 10,5	5,3 1,3	21,1 5,3	29 // 15/15 9 // 9/0
SALAD	1	1 786	134	56 (20 %)	0 % (IVA)	D, IDM, R	ATL PAC	1,5 0	- -	3	2	0 1,5	2,9 1,5	6 5	25 // 12/13 3 // 3/0
MASS			142	56 (42 %)	0 % (IVA)	D, IDM, R	ATL PAC	1,4 1,4	0 1,4	11	3	- -	- -	18 2	22 // 29/14 0 // 0/0
TOTAL				60 (23 %)			ATL PAC	1,0 1,3	2,3 4,1	5,9		7,7 6,5	11,0 11,3	15,5 10,4	42,3 7,3

MALADIES CORONARIENNES PAUCI-OU ASYMPTOMATIQUES

Classe I :

- lésion significative du tronc coronaire gauche ou équivalent (lésion significative de l’IVA proximale et de la CX proximale) ;
- lésion tritronculaire significative (le bénéfice en termes de survie étant supérieur en cas d’altération de la fonction ventriculaire, FE inférieure à 50 %).

Classe II A :

- lésion mono- ou bitronculaire avec atteinte de l’IVA proximale.

Classe II B :

- lésion mono- ou bitronculaire sans atteinte de l’IVA proximale.

ANGOR STABLE

Classe I :

- lésion significative du tronc commun ou équivalent ;
- lésion tritronculaire significative ;
- lésion bitronculaire avec atteinte de l’IVA proximale et soit une FE inférieure à 50 %, soit une ischémie démontrée ;
- lésion mono- ou bitronculaire sans atteinte de l’IVA proximale mais dont dépend un large territoire de muscle sain à haut risque sur les tests non invasifs ;
- angor menaçant malgré un traitement médical bien conduit ; lorsque le risque chirurgical est faible, si l’angor n’est pas typique, la preuve de l’ischémie doit être apportée.

Classe II A :

- lésion monotronculaire avec atteinte de l’IVA proximale ;
- lésion mono- ou bitronculaire sans atteinte de l’IVA proximale mais dont dépend un territoire de muscle sain, détendu, modéré dont l’ischémie est démontrée.

ANGOR INSTABLE

Classe I :

- lésion significative du tronc commun ou équivalent ;
- ischémie évolutive ne répondant pas aux traitements non chirurgicaux.

Classe II A :

- lésion mono- ou bitronculaire avec atteinte de l’IVA proximale.

Classe II B :

- lésion mono- ou bitronculaire sans atteinte de l’IVA proximale.

ALTÉRATION DE LA FONCTION VENTRICULAIRE GAUCHE

Classe I :

- lésion significative du tronc commun ou équivalent ;
- lésion bi- ou tritronculaire avec atteinte de l’IVA proximale.

Classe II A :

- fonction ventriculaire gauche altérée avec myocarde hibernant viable et revascularisable.

TROUBLES DU RYTHME VENTRICULAIRE

Classe I :

- lésion significative du tronc commun ou équivalent ;
- lésion tritronculaire.

Classe II A :

- lésion mono- ou bitronculaire responsable de troubles du rythme ventriculaire et accessible à une revascularisation ;
- lésion mono- ou bitronculaire avec atteinte de l’IVA proximale.

RÉINTERVENTION CORONAIRE

Classe I :

- angor menaçant malgré un traitement médical maximal (si l'angor n'est pas typique, la preuve de l'ischémie doit être établie).

Classe II A :

- accessibilité du lit d'aval coronaire à une revascularisation.

**RECOMMANDATIONS
DE REVASCULARISATION CHIRURGICALE**

■ **Angor stable**

Angor stable opposant initialement le traitement médical versus la revascularisation chirurgicale : les indications intéressent désormais le choix de la technique de revascularisation. Généralement, le caractère proximal de l'atteinte, l'atteinte du tronc coronaire gauche ou équivalent, l'atteinte de l'IVA proximale et la qualité du réseau d'aval coronaire plaident en faveur d'une revascularisation chirurgicale.

■ **Angor instable**

L'amélioration du pronostic de l'angor instable résulte de la mise en commun concertée des moyens médicaux, interventionnels et chirurgicaux. Globalement, les interventions de revascularisation chirurgicale concernent les récidives d'angor sous traitement médical maximal en présence d'atteinte du tronc coronaire gauche ou équivalent, d'atteinte tritronculaire avec IVA proximale ou dysfonction ventriculaire gauche.

■ **En pratique**

L'indication chirurgicale s'impose :

- devant une sténose du tronc commun ou équivalent quelle que soit la symptomatologie ;
- devant une atteinte tritronculaire avec une mauvaise fonction ventriculaire gauche quelle que soit la symptomatologie ;
- devant une atteinte tritronculaire avec une ischémie trouvée résistante au traitement médical ou associée à une mauvaise fonction ventriculaire gauche qu'elle que soit la symptomatologie.

Les atteintes bitronculaires ou monotronculaires avec ischémie trouvée et bonne fonction ventriculaire gauche sont habituellement traitées par angioplastie, sauf en cas de sténose proximale de l'IVA.

CORONAROPATHIE ET VALVULOPATHIES ASSOCIÉES

L'association morbide d'une coronaropathie et d'une valvulopathie aortique justifie un traitement concomitant des deux lésions^[56, 71]. Le problème en fait se pose devant la mise en évidence, lors du bilan préopératoire de pontages coronaires, d'une sténose aortique moyennement serrée ne justifiant pas à elle seule une indication opératoire. Les difficultés d'une réintervention pour remplacement valvulaire aortique chez des patients préalablement pontés incitent à élargir les indications de prise en charge simultanée aux sténoses aortiques moyennement serrées. À l'inverse, la question du dépistage et de la prise en charge des lésions coronaires se pose dans le bilan préopératoire d'une valvulopathie aortique. Concernant le dépistage, les recommandations de l'ACC/AHA sont de réaliser une coronarographie préopératoire chez les hommes de plus de 35 ans et chez les femmes ménopausées, ou en présence de facteurs de risque, ou dans les cas de signes cliniques ou électriques suggérant une ischémie myocardique. Le traitement simultané des lésions coronaires significatives est largement accepté.

L'association morbide d'une coronaropathie et d'une valvulopathie mitrale justifie un traitement concomitant des deux lésions.

L'amélioration d'une insuffisance mitrale ischémique modérée après revascularisation myocardique est une notion actuellement remise en doute et les indications de valvuloplastie dans ces cas devraient sans doute être plus larges.

**CORONAROPATHIE ET LÉSIONS
VASCULAIRES ASSOCIÉES**

Chez nos patients, potentiellement polyvasculaires, il convient de rechercher des lésions vasculaires chez les coronariens et surtout de dépister les lésions coronaires chez les patients vasculaires. Généralement, les lésions coronaires passent au premier plan et les lésions vasculaires périphériques ne sont traitées que secondairement. Les seules indications de chirurgie combinée portent sur les lésions associées coronariennes et carotidiennes.

L'intérêt du traitement chirurgical des sténoses carotidiennes serrées n'est plus à démontrer chez les patients symptomatiques et asymptomatiques. Le risque d'infarctus périopératoire lors d'une chirurgie carotidienne isolée chez un patient coronarien, et d'autre part le risque de retentissement hémodynamique d'une sténose carotidienne lors d'une CEC, ne sont pas négligeables. À la prise en charge chirurgicale séquentielle classique (pontage coronaire et secondairement thromboendartériectomie carotidienne) s'oppose de plus en plus la chirurgie combinée des deux localisations en présence des critères d'indications codifiés de chirurgie carotidienne^[4, 103].

D'une façon plus récente, la réalisation de pontages coronaires sans CEC nous ont fait élargir les indications de chirurgie combinée aux lésions aorto-iliaques et fémorales.

Bilan préopératoire

L'évaluation de l'atteinte coronaire étant réalisée (coronaropathie affirmée, ischémie myocardique prouvée, fonction ventriculaire et viabilité myocardique appréciées), le bilan préopératoire doit comporter la recherche d'autres localisations athéromateuses, l'évaluation des fonctions respiratoires, rénales et neurologiques, le dépistage de foyers infectieux et l'appréciation du capital greffon.

POLYVASCULAIRE

Un athérome coronarien doit faire rechercher une autre localisation athéromateuse, le patient devant être considéré comme un patient polyvasculaire. À l'examen clinique doit s'ajouter une exploration échodoppler systématique des troncs supra-aortiques (participant au dépistage des lésions des artères à destinée céphalique et des lésions proximales des axes sous-claviers en amont de l'origine des artères mammaires).

**FONCTIONS RESPIRATOIRE, RÉNALE
ET STATUT NEUROLOGIQUE**

La fonction rénale est évaluée systématiquement en préopératoire à la recherche d'une insuffisance rénale qui nécessite alors un bilan complémentaire spécifique.

La fonction respiratoire est évaluée par l'interrogatoire, l'examen clinique et l'analyse de la radiographie thoracique. Les épreuves fonctionnelles respiratoires sont réalisées à titre systématique tant que l'instabilité des lésions coronaires le permet. Au besoin, une gazométrie artérielle est un bon examen de référence.

Concernant le statut neurologique, il n'est pas nécessaire d'adjoindre à l'évaluation clinique un scanner cérébral à titre systématique si ce n'est lors d'une revascularisation myocardique et cérébrale combinée.

RECHERCHE DE FOYERS INFECTIEUX

Tout foyer infectieux évolutif, pouvant nécessiter de différer une intervention chirurgicale, doit être recherché. Il en est de même des foyers infectieux latents, oto-rhino-laryngologiques, stomatologiques, pulmonaires, qui peuvent être réactivés lors de la chirurgie coronaire (sinusite chronique).

CAPITAL GREFFON

Les artères mammaires internes devraient être visualisées lors de la coronarographie. Ceci est notamment indispensable lors du bilan des réinterventions. Le segment proximal des axes sous-claviers en amont de la naissance des artères mammaires doit être impérativement visualisé soit lors de la coronarographie, soit par échodoppler. Les artères radiales sont explorées cliniquement par le test d'Hallen. Les examens doppler évaluant la fonctionnalité de suppléance des arcades palmaires ne sont réalisés qu'en cas de test d'Hallen douteux ou péjoratif. En cas d'utilisation des artères gastroépiploïques ou épigastriques, l'échodoppler peut permettre l'évaluation du tronc coeliaque et la visualisation de l'origine de l'artère épigastrique. Les veines saphènes, bien que beaucoup moins fréquemment utilisées, sont évaluées par l'examen clinique. Dans les cas de nécessité de prélèvement veineux chez les patients qui présentent des veines saphènes cliniquement non parfaites, un échodoppler veineux permet de localiser parfaitement les segments veineux utilisables et ainsi de limiter des incisions cutanées exploratrices.

Préparation à la chirurgie

CONSULTATION CHIRURGICALE

Bien entendu indispensable, elle est essentielle pour instaurer la relation de confiance entre le chirurgien, le patient et sa famille. Une indication chirurgicale est confirmée ; la *check-list* des éléments de décision est observée ; la stratégie opératoire est envisagée.

Éléments de décision : check-list

- *âge, sexe*
- *symptomatologie*
- *antécédents d'infarctus (inférieur ou supérieur à 3 semaines)*
- *facteurs de risque (hypertension artérielle, diabète, hypercholestérolémie, tabac)*
- *facteurs de comorbidité (insuffisance rénale, insuffisance pulmonaire, obésité)*
- *localisation athéromateuse extracardiaque (tronc supra-aortique, aorto-iliaque, distal)*
- *disponibilité de greffon*
- *sévérité de l'ischémie myocardique*
- *fonction ventriculaire gauche*
- *viabilité myocardique*
- *lésion coronaire*
- *lésions cardiaques associées*

Le chirurgien a une obligation légale d'information du patient, ceci étant concrétisé par la signature par le patient d'un consentement éclairé.

CONSULTATION D'ANESTHÉSIE

Une consultation d'anesthésie, devant être réalisée au minimum 2 jours avant l'intervention, en dehors des situations d'urgence, est obligatoire. Elle est au mieux et généralement réalisée le jour même de la consultation chirurgicale. Elle permet d'apprécier l'état général du patient, de rechercher d'éventuels facteurs de risque anesthésique, d'apprécier le risque opératoire à l'aide de différents scores préopératoires [44, 77]. Elle peut de ce fait remettre en cause la légitimité d'une indication opératoire.

PRESCRIPTION PRÉOPÉRATOIRE

Elle concerne notamment les précautions à prendre vis-à-vis des traitements des patients en dehors des situations d'urgence et des angors instables : arrêt de l'aspirine 8 jours avant l'intervention, de

la ticlopidine et du Plavix® 10 jours avant, arrêt des inhibiteurs de l'enzyme de conversion 2 jours avant et arrêt des digitaliques 5 jours avant.

Une kinésithérapie préopératoire est fortement conseillée chez les patients bronchopathes. La prescription d'une contention thoracique pour la phase postopératoire immédiate (corset souple) peut être un adjuvant utile, notamment en cas d'utilisation des deux artères mammaires.

L'instauration d'une autotransfusion n'est possible en chirurgie coronaire que chez un patient parfaitement stable (cf infra).

Greffon

Les matériels de pontage sont dans la majorité des cas des autogreffes veineuses ou artérielles. Les autres conduits, homogreffes, hétérogreffes ou synthétiques, ne sont qu'anecdotiques. Le greffon mammaire, supérieur au greffon saphène, s'est imposé. La discussion actuellement est à l'utilisation des deux artères mammaires, voire à l'utilisation exclusive de greffons artériels. Un greffon pédiculé (ou in situ) est laissé avec son pédicule, son origine vasculaire. Cela peut être le cas avec les artères mammaires ou l'artère gastroépiploïque.

Un greffon libre n'est pas laissé sur son pédicule et nécessite donc une réimplantation proximale généralement réalisée sur l'aorte ascendante. C'est le cas des greffons saphènes, radiaux, épigastriques, voire mammaires ou gastroépiploïques lorsque leur trajet est trop court.

GREFFON SAPHÈNE

La veine saphène interne a été et reste encore le greffon le plus utilisé en chirurgie coronaire. La veine saphène externe est très peu utilisée. Les autres greffons veineux sont anecdotiques. À la jambe, la veine saphène interne a un calibre plus adapté qu'à la cuisse.

– *Avantages* : la facilité et la rapidité du prélèvement, la longueur disponible, la facilité d'utilisation, un flux maximal d'emblée.

– *Inconvénients* : la discordance des diamètres avec la coronaire, d'être un greffon libre nécessitant une réimplantation proximale, prélèvement délabrant et un faible taux de perméabilité à moyen et long termes.

– *Précautions avant prélèvement* : un examen clinique de la veine saphène interne complété au besoin par un examen échodoppler.

– *Résultats* : l'hyperplasie fibromusculaire intimale de la première année suivie par l'athérosclérose des greffons saphènes est à l'origine des résultats décevants de ces greffons. Le taux annuel d'occlusion est de 2 % entre la première et la cinquième année postopératoire, de 5 % ultérieurement de telle sorte que, à 12 ans, 50 % des greffons sont occlus et 50 % des greffons perméables sont pathologiques [21, 42, 49, 86] (tableau VI).

GREFFON MAMMAIRE

Le pontage de l'IVA par l'artère mammaire interne gauche (AMIG) in situ s'est imposé comme le *gold standard* de la chirurgie coronaire. Bien qu'il n'existe pas d'explication définitive, plusieurs facteurs ont été reconnus :

– anatomique : greffon in situ généralement anastomosé sur le réseau coronaire qui présente le plus important lit d'aval (IVA, diagonale et septale) ;

– histologique : artère élastique (par rapport aux autres greffons artériels qui sont de type musculaire) [2, 53, 91] ; qualité de la membrane élastique interne qui s'oppose à la prolifération de cellules musculaires de la média vers l'intima (phénomène facilité par la rupture de cette limite élastique interne) et une distance entre intima et média inférieure à 300 µm permettant une nutrition par diffusion [79] ; conservation des vasa vasorum lorsque le greffon est gardé pédiculé ;

Tableau VI. – Perméabilité des greffons veineux.

	Suivi					
	Précoce		Intermédiaire		Tardif	
	Greffons <i>n</i>	Perméabilité %	Greffons <i>n</i>	Perméabilité %	Greffons <i>n</i>	Perméabilité %
Fitzgibbon	4 592	88 % (1 an)	1 889	75 % (5 ans)	353	30 % (≥ 15 ans)
Bourassa	721	87 % (< 1 mois)	201	79 % (5-7 ans)	156	63 % (10-12 ans)
CASS	334	90 % (< 60 jours)	472	82 % (5 ans)		

Tableau VII. – Probabilité de perméabilité des pontages mammaires.

	2 ans	4 ans	6 ans	8 ans	10 ans
AMIG pédiculée (745)	0,99	0,98	0,97	0,96	0,91
AMID pédiculée (194)	0,99	0,94	0,92	0,89	
AMID libre (156)	0,96	0,92	0,89	0,81	

AMIG : artère mamair interne gauche ; AMID : artère mammaire interne droite.

– biochimique : sécrétion par les cellules endothéliales d’agents vasodilatateurs, notamment prostacycline et monoxyde d’azote, et réponse aux différents agents vasoconstricteurs [25, 53, 76, 94].

– *Avantages* : greffon artériel pédiculé dont les taux de perméabilité à court et long termes sont excellents.

– *Inconvénients* : les difficultés de prélèvement et d’utilisation, une longueur limitée, la possibilité de spasmes, la dévascularisation sternale, la fréquence des épanchements pleuraux en cas d’ouverture pleurale, le risque de lésion phrénique.

– *Précautions avant prélèvement* : l’examen clinique vérifie le caractère symétrique du pouls et de la tension à chaque bras et doit être complété par une étude échodoppler des troncs supra-aortiques qui permet d’écarter une sténose des artères sous-clavières proximales.

– *Résultats* : l’AMIG a les meilleurs taux de perméabilité (96 % à 1 an, 90 % à 10 ans) [19, 20, 42, 86]. Néanmoins, les taux de perméabilité varient en fonction de l’artère mammaire (gauche ou droite), utilisés en greffon in situ ou en greffon libre (tableau VII).

AUTRES GREFFONS ARTÉRIELS

■ *Artère radiale*

Utilisée dès 1970 par Carpentier [22], l’artère radiale connaît un regain d’intérêt en chirurgie coronaire [1, 2, 25]. Le mode de prélèvement (dissection avec pédicule en prenant les deux veines satellites), de préparation (artère rincée et légèrement dilatée plutôt que forcée avec une solution sanguine contenant de la papavérine) et l’utilisation en continu, dès la période périopératoire, d’inhibiteurs calciques expliquent ce regain d’intérêt.

– *Avantage* : greffon artériel de diamètre, d’épaisseur et de longueur adéquats dont les taux de perméabilité à moyen terme sont satisfaisants.

– *Inconvénients* : un temps de prélèvement long, un greffon artériel libre nécessitant une réimplantation proximale, une artère très spastique nécessitant un traitement anticalcique de longue durée, un taux de perméabilité à long terme encore inconnu.

– *Précautions avant prélèvement* : la réalisation d’un test d’Hallen complété si besoin par une étude échodoppler de la suppléance des arcades palmaires.

– *Résultats* (tableau VIII).

Tableau VIII. – Perméabilité des greffons radiaux.

	< 1 mois	12 mois	67 ± 13 mois
Radiale Perméabilité Greffons étudiés	98 % 75	93 % 61	84 % 64

Tableau IX. – Perméabilité des greffons gastroépioïques (GE).

	2 mois	2-5 ans
GE pédiculé	350/365 (96 %)	57/62 (92 %)
GE libre	12/15 (80 %)	-

Tableau X. – Perméabilité des greffons épigastriques.

	2 semaines	14 mois	51 mois
Épigastrique	98 % 139/142	91 % 81/89	92 % 12/13

■ *Artère gastroépioïque*

L’artère gastroépioïque droite, branche d’artère gastroduodénale, vascularise la grande courbure de l’estomac. Son prélèvement nécessite une courte laparotomie verticale. Par un trajet transdiaphragmatique, elle peut assurer la revascularisation de la paroi postérolatérale du ventricule gauche. Cependant, bien que pouvant être utilisé in situ, le greffon gastroépioïque a du mal à s’imposer [70, 95, 96].

– *Avantages* : greffon artériel in situ, de longueur suffisante, de diamètre et d’épaisseur adaptés dont les taux de perméabilité à moyen terme sont satisfaisants.

– *Inconvénients* : prélèvement long, difficile, nécessitant une laparotomie et exposé au risque inhérent à un prélèvement artériel intra-abdominal, difficulté et risque inhérents au trajet transdiaphragmatique, vasospasmocité et résultats à long terme non connus.

– *Précautions avant prélèvement* : dépistage d’une sténose d’un tronc coeliaque par échodoppler, voire par artériographie.

– *Résultats* (tableau IX).

■ *Artère épigastrique*

Proposée au début des années 1990, cette artère, branche pariétale de l’épigastrique externe, n’est que peu utilisée [16]. Elle est prélevée par une incision abdominale respectant le péritoine.

– *Avantages* : greffon artériel dont le prélèvement est assez facile et dont les taux de perméabilité à court terme sont assez bons (mais il existe d’importantes variations entre les différents taux de perméabilité rapportés).

– *Inconvénients* : greffon libre nécessitant une réimplantation, artère musculaire parfois athéromateuse, de diamètre et de longueur parfois insuffisants, risque d’hématome pariétal, perméabilité à long terme non encore connue.

– *Résultats* (tableau X).

**INFLUENCE DU CHOIX DES GREFFONS
SUR LES RÉSULTATS**

■ **Une artère mammaire**

Le bénéfice de l'utilisation du greffon AMIG in situ pour la revascularisation de l'IVA n'est plus discuté [8, 19, 21, 27, 35, 37, 42, 48, 49, 86, 91, 108]. Les résultats sont meilleurs lorsque l'IVA a été revascularisée à l'aide de l'AMIG en termes de survie, de survenue d'accident cardiologique (infarctus, hospitalisation cardiologique), de recours à des angioplasties, de nécessité de réintervention. Selon que l'AMIG est utilisée ou non, la survie à 10 ans est de 83 versus 71 % chez les tritronculaires, de 90 versus 79 % chez les bitronculaires, de 93 versus 88 % chez les monotronculaires [64]. Les seules limitations éventuelles à l'utilisation de l'AMIG sont représentées par les patients dont l'espérance de vie est limitée du fait de leur âge (supérieur à 80 ans), d'une dysfonction ventriculaire gauche sévère (FE inférieure à 20 %) ou d'une maladie chronique maligne concomitante.

■ **Deux artères mammaires**

Le bénéfice de l'utilisation des deux artères mammaires internes (AMI) a été plus difficile à démontrer [32, 41, 45, 67]. L'enthousiasme suscité par les résultats de l'AMIG, a naturellement incité à l'utilisation de l'artère mammaire interne droite (AMID). Les premiers résultats ont été décevants du fait de difficultés techniques supérieures s'accompagnant d'une mortalité élevée. Par la suite, les premières grandes études ont consisté à démontrer la faisabilité de l'utilisation chirurgicale des deux AMI. Galbut rapportait une série de 1 087 patients avec une mortalité opératoire de 2,7 %, un taux d'infection sternale de 1,5 %, une survie à 10 ans de 80 % avec un taux de perméabilité de 92 % pour l'AMIG et de 85 % pour l'AMID [45]. Parallèlement à la faisabilité, les patients à risque pour une chirurgie bimammaire étaient bien individualisés : risques de complication pariétale accrus chez les patients obèses, diabétiques et insuffisants respiratoires [32]. La faisabilité étant démontrée, le bénéfice de l'utilisation des deux AMI a été étudié. Celui-ci ne s'observe qu'à long terme, 8 ans, mais est significatif en termes de survie, de survenue d'événement cardiologique majeur, de nécessité d'angioplastie, de nécessité de réintervention [67]. Ce bénéfice de l'utilisation des deux AMI apparaît plus nettement chez le patient jeune. Il est par ailleurs confirmé chez le diabétique ainsi que chez le patient présentant une dysfonction ventriculaire gauche, deux populations traditionnellement considérées comme un risque pour une revascularisation artérielle.

■ **Troisième greffon artériel**

Les études de faisabilité concernant l'utilisation d'un troisième greffon artériel sont bien avancées. Bien que non encore démontrés, les résultats à moyen terme suggèrent qu'un troisième greffon artériel aurait une perméabilité supérieure à celle des greffons veineux, mais restant néanmoins inférieure à celle des greffons mammaires. Perméabilité intermédiaire, nécessité d'un important recul clinique, laissent présager des difficultés à surmonter dans l'étude du bénéfice d'un troisième greffon artériel. Cependant, celui-ci nous semble licite.

L'artère gastroépiploïque a été préconisée, permettant une revascularisation par trois greffons artériels pédiculés. Nous utilisons l'artère radiale comme troisième greffon artériel et ce d'une manière quasi systématique chez le sujet jeune.

Techniques de protection myocardique

Corollaire incontournable du clampage aortique, la protection myocardique a été l'objet de progrès incessants et reste une préoccupation constante chez le chirurgien. De nombreux concepts et techniques de protection ont été utilisés. Les premiers avaient pour objectif d'éviter, ou du moins de limiter, l'ischémie

myocardique (cœur battant, fibrillation, perfusion sélective des coronaires, déclampage intermittent). Ils ont globalement fait la preuve de leur limite et ne trouvent actuellement que de très rares indications. Puis, le concept de protection par l'hypothermie (hypothermie de surface) a rapidement été suivi par celui de cardioplégie cristalloïde froide, amélioré par la suite par l'utilisation d'une solution sanguine (cardioplégie sanguine froide), puis par la prévention des effets néfastes de la reperfusion [38] (reperfusion contrôlée). Un concept plus récent, celui de la cardioplégie sanguine chaude, semble particulièrement bien adapté à la chirurgie coronaire. Ainsi, la protection myocardique peut être assurée par injection unique ou répétée par voix antérograde, rétrograde ou mixte, d'une solution de cardioplégie qui peut être cristalloïde, sanguine froide ou chaude [26, 39, 55, 89].

BASE

L'obtention d'un champ opératoire immobile et exsangue nécessite un clampage aortique continu qui, par l'interruption du flux coronaire et l'insuffisance d'apport sanguin tissulaire, entraîne une ischémie myocardique [30, 39, 68]. Cette ischémie provoque le passage d'un métabolisme cellulaire anaérobie.

BUT

Le but de la protection myocardique est donc de prévenir les conséquences de l'ischémie-reperfusion myocardique et de maintenir un statut énergétique permettant le redémarrage du cœur dans des conditions aussi proches que possible de la normale.

PRINCIPE

Le principe de la cardioplégie est de provoquer l'arrêt électromécanique du cœur en diastole grâce à l'injection de potassium qui bloque la dépolarisation rapide de la cellule myocardique. L'arrêt électromécanique est induit immédiatement après l'interruption de la circulation coronaire afin de préserver au maximum l'acide adénosine triphosphorique.

MOYEN

Plusieurs types de solution de cardioplégie sont utilisés. Ils ont en commun des taux élevés de potassium de 15 à 35 mmol/L, du sodium, car l'hyponatrémie favorise le passage intracellulaire du calcium, du magnésium, en bloquant le passage intracellulaire du calcium, mais aussi du calcium car son absence peut aggraver les lésions de reperfusion (paradoxe calcique). La solution doit être hyperosmolaire pour lutter contre l'œdème interstitiel et intracellulaire postischémique ; elle doit être tamponnée.

CARDIOPLÉGIE SANGUINE FROIDE

L'apport de sang, introduit initialement dans la cardioplégie sanguine froide, a permis de lutter contre la dette ischémique permettant une oxygénation du myocarde lors de l'induction de l'arrêt et une réoxygénation à chaque injection et ce malgré le déplacement vers la gauche de la courbe de dissociation de l'hémoglobine. Par ailleurs, l'apport de sang permet de lutter contre l'œdème, contre l'acidification et contre l'effet cytotoxique sur les cellules endothéliales [23, 43].

CARDIOPLÉGIE CHAUDE

Concept plus récent, l'hypothermie est abandonnée ; la cardioplégie est véhiculée par le sang chaud à 35 °C. L'utilisation de sang chaud s'approche plus des conditions physiologiques (sang, oxygène) évitant les problèmes d'acidification, d'œdème et de cytotoxicité [43]. Cependant, si la consommation est fortement diminuée par l'arrêt de toute activité mécanique du cœur, elle n'en demeure pas pour autant supprimée, ce qui nécessite un apport fréquent, voire

permanent, de sang comme cela était proposé dans la technique initiale par Salerno : cardioplégie rétrograde chaude continue. Afin d'éviter les problèmes d'une injection continue en chirurgie coronaire, nous utilisons de manière routinière une technique de cardioplégie chaude antérograde intermittente qui autorise un champ opératoire complètement exsangue, ce qui correspond bien aux impératifs de la chirurgie coronaire.

Techniques d'économie sanguine

Les risques de contamination, plus que les erreurs transfusionnelles, la nécessité d'économie de santé, ont définitivement imposé la notion déjà ancienne d'économie sanguine. Les techniques d'économie sanguine peuvent être envisagées aux phases pré-, per- et postopératoire mais, quelles que soient ces techniques, elles ne sauraient supplanter l'élément essentiel qu'est la rigueur chirurgicale.

PHASE PRÉOPÉRATOIRE

■ Autotransfusion autologue programmée

Trois semaines avant l'intervention, le patient est mis sous un programme de prélèvement sanguin permettant la récupération de trois à quatre poches de son sang sous couvert d'un traitement martial, voire d'érythropoïétine. Ces programmes ne sont applicables que chez les patients parfaitement stables et sont relativement peu adaptés à la prise en charge du coronarien.

PHASE OPÉRATOIRE

■ Rigueur chirurgicale

L'économie sanguine en chirurgie cardiaque est avant tout, et rien ne la remplacera, la rigueur chirurgicale : rigueur dans les concepts, dans les techniques opératoires, dans l'hémostase chirurgicale.

■ Hémodilution

La non-utilisation de produits sanguins pour le volume d'amorçage de la pompe est de règle, le *priming* étant réalisé à l'aide de soluté de type cristalloïde. Ceci entraîne une hémodilution, l'hématocrite se situant entre 20 et 30 % au cours des CEC. La baisse de la capacité de fixation de l'oxygène résultant de la chute de l'hématocrite est schématiquement compensée par l'élévation du débit circulatoire due à la diminution de la viscosité sanguine.

■ Autotransfusion autologue peropératoire

Cette technique consiste à prélever chez le patient de 250 à 500 mL de sang avant la CEC et de les réinjecter en fin d'intervention. Elle n'est pas adaptée aux situations d'urgence, elle nécessite un hématocrite préopératoire suffisant et ne trouve que peu de place chez le coronarien.

■ « Cell saver »

Cet appareillage permet de récupérer les pertes peropératoires, de laver, de reconcentrer, de réinjecter rapidement les globules rouges. Efficace sur l'hématocrite, il n'assure toutefois pas la réinjection des facteurs de coagulation qui sont éliminés.

■ Hémofiltration

Elle peut être une technique adjuvante utile en fin d'intervention pour rétablir un hématocrite trop fortement abaissé par l'hémodilution ou pour éliminer une surcharge hydrique préopératoire liée à la cardiopathie ne répondant pas aux diurétiques.

PHASE POSTOPÉRATOIRE

Récupération du sang épanché dans le médiastin en postopératoire immédiat : son principe est la récupération du sang par les drains médiastinaux et sa réinjection directe et continue au patient à l'aide

d'une pompe branchée sur une tubulure de perfusion. Cette technique peut être réalisée pendant les 6 premières heures postopératoires.

Techniques d'anastomoses coronaires

L'anastomose en chirurgie coronarienne s'effectue sur des vaisseaux dont le calibre varie entre 1 et 3 mm. Le chirurgien travaille sous loupe binoculaire qui assure selon le type un grossissement de 2,5 à 6. Le surjet continu s'est imposé comme la technique de référence. Le fil utilisé est un monofilament de polypropylène. La taille du fil varie selon les chirurgiens, les greffons utilisés, la qualité des coronaires réceptrices et selon le type d'anastomose, distale (sur la coronaire) ou proximale (sur l'aorte ascendante). Dans la majorité des cas, les anastomoses distales sont réalisées avec du 8-0 pour les greffons artériels ou du 7-0 pour les greffons veineux, et les anastomoses proximales avec respectivement du 7-0 ou du 6-0.

ANASTOMOSE TERMINOLATÉRALE

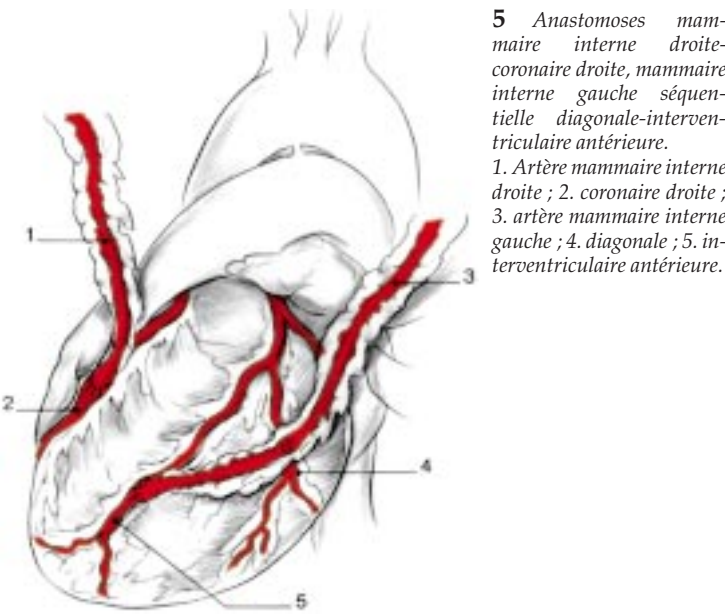
En chirurgie coronaire, l'anastomose terminolatérale est la technique la plus utilisée. Le greffon est anastomosé en terminal sur la coronaire ouverte latéralement. Il en est de même de la réimplantation proximale d'un greffon libre.

ANASTOMOSE LATÉROLATÉRALE SÉQUENTIELLE

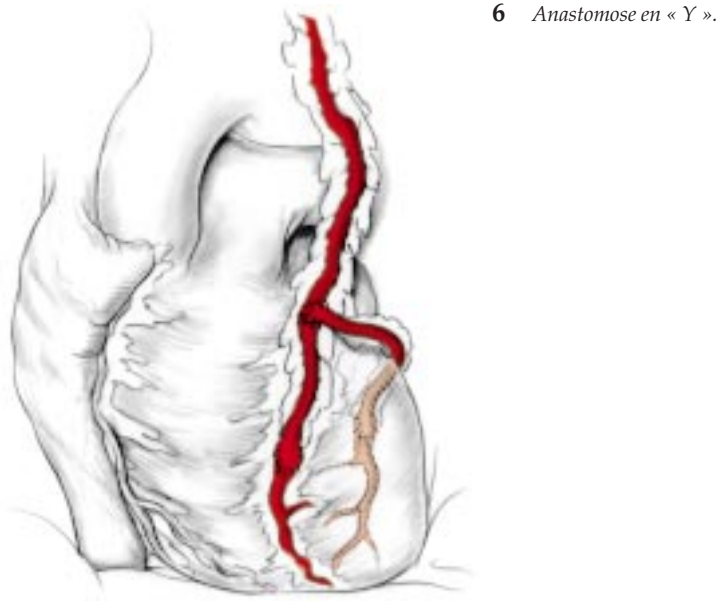
Les anastomoses séquentielles permettent la revascularisation de plusieurs coronaires à l'aide d'un seul greffon, celui-ci étant anastomosé en latérolatéral sur une voire plusieurs coronaires avant d'être anastomosé en terminolatéral sur une dernière coronaire [33, 58, 98, 102]. Un des avantages théoriques de ces montages est que le recrutement de plusieurs réseaux d'aval coronaire, par l'augmentation du flux qu'il provoque dans le pontage, en favoriserait la perméabilité [33]. Toutefois, la construction de ces montages est techniquement plus délicate et peut compromettre l'ensemble de la revascularisation. Ainsi, les pontages dits en « *snake* », où un seul greffon serpentait sur la surface du cœur pour en revasculariser toutes les coronaires, ont été abandonnés. Actuellement, les pontages séquentiels trouvent leurs meilleures indications dans les situations de déficit de greffons, d'aorte ascendante pathologique rendant aléatoire, voire dangereuse, une réimplantation proximale supplémentaire et dans les revascularisations artérielles exclusives, les résultats des anastomoses séquentielles semblant être meilleurs lorsqu'elles sont réalisées avec des greffons artériels. Les pontages séquentiels peuvent être réalisés soit entre la CD et l'IVP, soit entre l'IVP et la RVP, soit entre deux, voire trois, branches marginales gauches, soit entre l'IVA et une voire deux diagonales [102]. En fonction de l'orientation du greffon et de la coronaire, l'anastomose séquentielle latérolatérale est réalisée d'une manière parallèle ou en diamant lorsque l'angle d'attaque est perpendiculaire (*diamond shape side to side sequential anastomosis*). Dans tous les cas, une attention toute particulière doit être apportée au *design* et à la construction du montage afin d'éviter tout excès ou insuffisance de longueur et toute angulation du greffon entre les sites d'anastomoses (fig 5).

ANASTOMOSE EN « Y »

Cette anastomose terminolatérale permet la réimplantation d'un greffon libre directement sur un autre greffon plutôt que sur l'aorte ascendante [10, 18, 99]. Une anastomose en « Y » peut être réalisée de nécessité dans les cas d'insuffisance de longueur d'un greffon ou en présence d'une aorte ascendante manifestement impraticable. Elle peut aussi être délibérément réalisée pour éviter la réimplantation d'un greffon artériel libre sur l'aorte ascendante [59]. En effet, la réimplantation d'un greffon artériel libre, notamment mammaire, sur l'aorte ascendante est techniquement difficile et serait grevée d'un taux d'occlusion précoce important du fait de la qualité de



5 Anastomoses mammaire interne droite-coronaire droite, mammaire interne gauche séquentielle diagonale-interventriculaire antérieure.
1. Artère mammaire interne droite ; 2. coronaire droite ; 3. artère mammaire interne gauche ; 4. diagonale ; 5. interventriculaire antérieure.

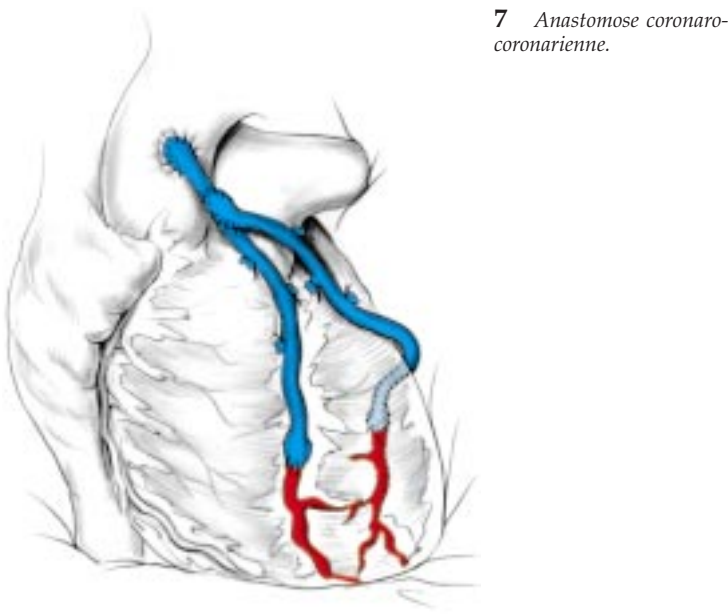


6 Anastomose en « Y ».

l'aorte, du diamètre du greffon et de la différence d'épaisseur entre la paroi aortique et celle du greffon. Ainsi, un greffon AMID revascularisant la marginale gauche (M) peut être anastomosé en « Y » de parti pris sur un greffon AMIG pédiculé destiné à l'IVA (AMIG-IVA + Y AMID-M) (fig 6).

ANASTOMOSE CORONAROCORONARIENNE

Dans ce type de montage, les anastomoses proximales et distales d'un greffon libre sont réalisées entre deux segments d'une même coronaire, voire sur deux segments de deux coronaires différentes [74]. Un segment coronaire proximal perméable est un prérequis indispensable à cette technique. C'est souvent le cas de l'ostium et du premier segment de la coronaire droite. Un greffon AMID, trop court pour être gardé pédiculé, peut être réimplanté sur ce segment plutôt que sur l'aorte ascendante (CD-AMID-CD). Les indications des pontages coronarocoronariens sont les insuffisances de longueur des greffons, les aortes « impraticables » [106] ou non propices à la réimplantation d'un greffon artériel libre. D'autre part, les pontages coronarocoronariens peuvent permettre une meilleure gestion du capital greffon, voire une économie de greffon. Par exemple, un greffon AMID trop court pour être gardé pédiculé pour revasculariser la CD peut être divisé en deux segments. L'un est utilisé pour la CD en pontage coronarocoronarien, le deuxième



7 Anastomose coronarocoronarienne.

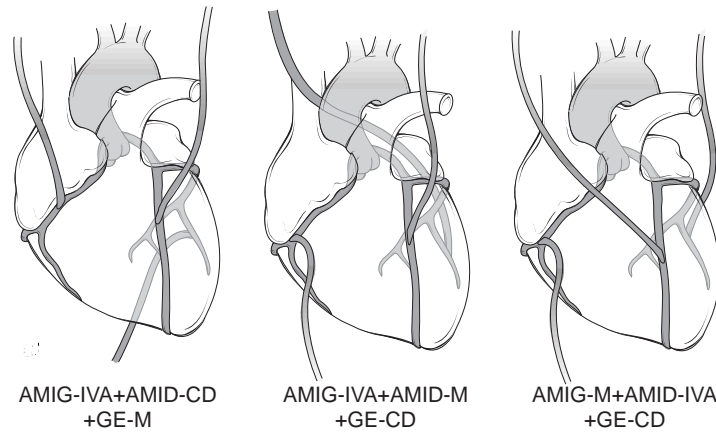
segment AMID peut revasculariser une marginale grâce à un montage en « Y » (AMIG-IVA + YAMID-M + CD-AMID-CD) (fig 7).

Revascularisation artérielle exclusive

Les revascularisations chirurgicales faisant appel à des montages de plus en plus divers, variés et complexes [10, 15, 18, 33, 74, 81, 85, 98, 99, 102], une nomenclature paraît nécessaire. Un pontage se caractérise par le greffon et la coronaire revascularisée. Par exemple, un pontage de l'IVA grâce à l'AMIG pédiculée peut s'écrire : AMIG-IVA. Un pontage de la marginale grâce à l'AMID pédiculée passée dans le sinus de Theille [15] est noté : AMID-M. De la même manière, les anastomoses séquentielles peuvent être notées : AMIG-D, IVA pour un pontage de la diagonale et de l'IVA grâce à l'AMIG pédiculée, AMIG-M1, M2 pour un pontage des deux marginales grâce à l'AMIG pédiculée. Une réimplantation proximale d'un greffon artériel libre peut être réalisée sur l'aorte, sur un autre greffon selon un montage en « Y » ou sur un segment de coronaire selon un montage coronarocoronarien. La revascularisation de la première marginale par un greffon radial gauche réimplanté sur l'aorte est notée : AO-RADG-M1. La revascularisation de cette même marginale par une AMID réimplantée en « Y » sur l'AMIG pédiculée implantée sur l'IVA est notée : AMIG-IVA + YAMID-M1. La revascularisation de la CD grâce à l'AMID réimplantée sur la CD elle-même sera notée : CD-AMID-CD. Pour la clarté, ne sont présentées que les architectures de base de ces revascularisations. Des anastomoses séquentielles peuvent être rajoutées et, concernant la CD, elle seule est mentionnée alors qu'il peut être question de l'IVP, de la RVP voire des deux.

De nombreuses questions se posent encore quant à la meilleure utilisation des greffons artériels qui peuvent être libres ou pédiculés, réservés, pour les AMI, à la revascularisation de la coronaire gauche ou non, et quant au choix du troisième greffon voire pour certains à la réalisation de revascularisations complètes à l'aide des deux seules mammaires. Les figures 8 et 9 résument les possibilités de :

- revascularisation à l'aide des deux artères mammaires pédiculées complétées par un troisième greffon radial ou complétées par un troisième greffon gastroépiploïque (fig 8) ;
- revascularisation de la coronaire gauche à l'aide des deux artères mammaires complétées de même d'un troisième greffon artériel radial ou gastroépiploïque (fig 9).



8 Revascularisation artérielle exclusive. Revascularisation à l'aide de trois greffons artériels pédiculés (deux artères mammaires internes plus artère gastroépiploïque). AMIG : artère mammaire interne gauche ; AMID : artère mammaire interne droite ; CD : coronaire droite ; GE : artère gastroépiploïque ; IVA : artère interventriculaire antérieure ; M : artère marginale.

Remarques : le troisième greffon artériel gastroépiploïque pouvant être remplacé par un greffon libre radial ; architecture de base, les revascularisations pouvant être réalisées sur les coronaires décrites ou leurs branches et associées plus ou moins à des anastomoses séquentielles.

Autres techniques chirurgicales

CHIRURGIE DIRECTE DU TRONC CORONAIRE GAUCHE

La chirurgie directe du TCG, abandonnée dans les années 1970 au profit des pontages coronaires, connaît un regain d'intérêt depuis la fin des années 1980 sans toutefois parvenir à s'imposer. D'une part, les lésions isolées du TCG ne représentent que 0,2 % à 3 % des coronaropathies, d'autre part les techniques sont variées et sujettes à controverses et les résultats à long terme sont incertains. Le geste consiste à réaliser, pour des lésions isolées du TCG ne dépassant pas la bifurcation, une thromboendartériectomie, associée à une plastie d'élargissement du TCG. Le TCG peut être abordé directement après dissection de l'aorte et de l'artère pulmonaire, ou

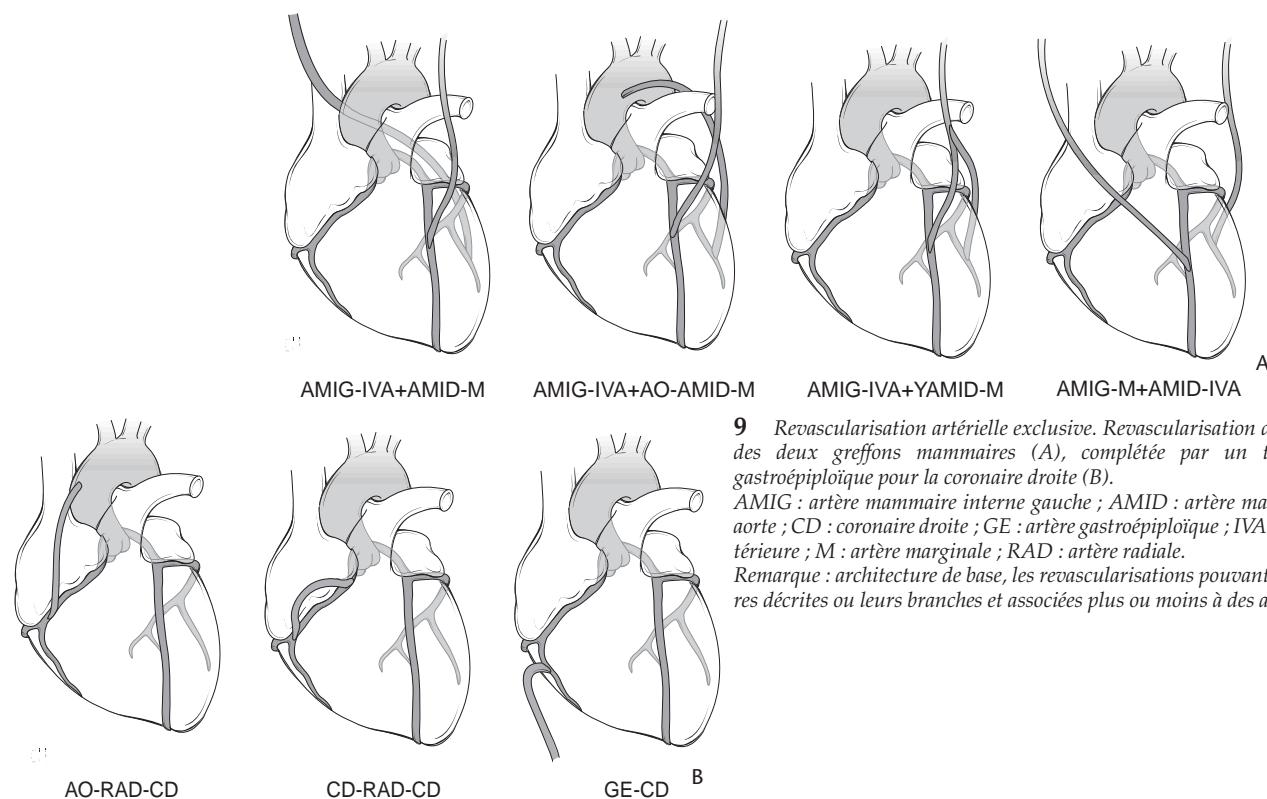
bien par ouverture de l'aorte, voire par transsection de l'artère pulmonaire. La thromboendartériectomie doit être complète et s'arrêter en pente douce sans aucun ressaut ou *flap* intimal. Le *patch* utilisé pour refermer le TCG sans le sténoser peut être biologique ou synthétique. La veine saphène a été la plus utilisée malgré le devenir à long terme de ce substitut dans les pontages coronaires ; les *patches* artériels, sans doute plus physiologiques, obligent au sacrifice d'un capital greffon majeur ; les *patches* en péricarde autologue, voire hétérologue, ne sont pas à l'abri des phénomènes de rétraction et de calcification. Nous trouvons quelques rares bonnes indications à la chirurgie directe du TCG notamment dans les cas d'association morbide à un rétrécissement aortique, la plastie du tronc étant réalisée aorte ouverte après résection valvulaire, le *patch* utilisé étant veineux.

ENDARTÉRIECTOMIE CORONAIRE

L'endartériectomie coronaire consiste à désobstruer le lit d'une coronaire soit occluse soit multisténosée, afin de rendre la réalisation d'un pontage coronaire possible [6, 14]. Cette technique, lorsqu'elle est utilisée, l'est généralement par nécessité dans les situations cliniques suivantes :

- rupture de plaque d'athérome pendant la réalisation d'une anastomose ;
- calcification rendant l'anastomose coronaire aléatoire ;
- impossibilité de trouver une lumière coronaire autorisant une anastomose coronaire sur une artère quasiment occluse sur toute sa longueur.

L'endartériectomie coronaire peut être, mais c'est rarement le cas, réalisée de parti pris sur des coronaires sévèrement atteintes de manière diffuse, présentant des sténoses voire des occlusions multiples et étagées. Les cibles de l'endartériectomie sont essentiellement la CD et l'IVA. La technique consiste, à l'aide d'une spatule, à cliver le séquestre athéromateux comportant l'intima et la partie interne de la média du reste de la paroi artérielle, partie externe de la média et adventice. L'endartériectomie doit être délicatement étendue vers l'aval afin d'emporter d'un seul tenant la plaque athéromateuse, le séquestre devant reproduire le moule artériel avec le départ des collatérales et se terminer en pente douce.



9 Revascularisation artérielle exclusive. Revascularisation de la coronaire gauche à l'aide des deux greffons mammaires (A), complétée par un troisième greffon radial ou gastroépiploïque pour la coronaire droite (B).

AMIG : artère mammaire interne gauche ; AMID : artère mammaire interne droite ; AO : aorte ; CD : coronaire droite ; GE : artère gastroépiploïque ; IVA : artère interventriculaire antérieure ; M : artère marginale ; RAD : artère radiale.

Remarque : architecture de base, les revascularisations pouvant être réalisées sur les coronaires décrites ou leurs branches et associées plus ou moins à des anastomoses séquentielles.

Tableau XI. – Évolution en chirurgie coronaire mini-invasive.

Abord chirurgical	Sternotomie	Minithoracotomie	Trocart
CEC	Conventionnelle	Périphérique <i>heart-port</i>	Sans CEC
Instrumentation	Conventionnelle	Vidéoarthroscopie	Roboassistée

CEC : circulation extracorporelle.

Ce résultat peut être obtenu soit par une seule artériotomie soit, notamment pour l’IVA, par des artériotomies étagées. Ces artériotomies étagées sont alors généralement refermées sur *patch*. Les résultats des endartériectomies coronaires justifient le fait que cette technique ne soit utilisée qu’en cas d’impossibilité de pontage conventionnel. Les risques d’infarctus et de mortalité opératoire sont plus importants respectivement (de 5 à 10 % et de 2 à 10 %) et les taux de perméabilités à long terme des pontages sur artères endartériectomisées sont moins importants ^[14].

LASER

Le laser a été proposé dans des cas de cardiopathies ischémiques pour des territoires fonctionnellement accessibles (viabilité prouvée en scintigraphie au thallium, ou échostress, ou TEP) mais non accessibles anatomiquement (coronaires non revascularisables car trop grêles) ^[97]. De 20 à 50 impacts de laser sont effectués à cœur battant, créant autant de canaux intramyocardiques pouvant être à l’origine d’une néovascularisation. Nous manquons de critères objectifs permettant d’expliquer un certain degré d’amélioration fonctionnelle dont le mécanisme même n’est pas encore bien élucidé.

Chirurgie coronaire mini-invasive

Différentes voies de recherche ont été étudiées afin de diminuer le caractère invasif et la morbidité de la chirurgie coronaire. Ces recherches ont été suscitées et permises par des innovations technologiques qui sont en passe de bouleverser les techniques conventionnelles de chirurgie coronaire.

Un des objectifs a été de limiter l’importance de la voie d’abord chirurgicale, de la sternotomie à l’absence de thoracotomie (utilisation de trocars transthoraciques) en passant par les minithoracotomies. Les techniques de thoracoscopie ont participé à ce développement initialement débuté par le prélèvement vidéoassisté de l’AMIG.

L’utilisation de la CEC a été remise en cause. Entre la CEC conventionnelle et les pontages réalisés sans CEC, les innovations technologiques ont permis des CEC fémorofémorales implantables par voie percutanée autorisant un clampage aortique par voie endoluminale ainsi que la distribution de la cardioplégie : système « *heart-port* ».

L’instrumentation, les techniques de prélèvement et de suture ont été modifiées, passant des techniques conventionnelles aux techniques vidéoassistées et à l’introduction de la robotique (*tableau XI*).

On distingue essentiellement trois approches moins invasives :

- les pontages coronaires sans CEC (*off-pump CABG*) réalisés sous sternotomie ;
- la chirurgie mini-invasive directe (MID CAB) : réalisation sous minithoracotomie de pontage mammaire sans CEC, prélèvement vidéoassisté de l’artère mammaire ;
- *port-access CAB* : utilisation des techniques de vidéoassistance ou d’assistance par robotique pour la réalisation des prélèvements et des anastomoses coronaires, sous CEC *heart-port*, cœur arrêté et protégé, thorax non ouvert.

PONTAGE SANS CEC

Les pontages sans CEC (*off-pump CABG*) connaissent un regain d’intérêt ^[12, 24]. Leur but dans les pays industrialisés est d’éviter la morbidité inhérente aux CEC. Dans les pays émergents, leur intérêt

est avant tout économique. Les innovations techniques ou technologiques qui ont permis le développement des pontages sans CEC sont les systèmes de stabilisation cardiaque, les points de suspension péricardique, les shunts intracoronaires.

■ Stabilisateurs cardiaques

Grâce à eux, la zone anastomotique devient quasiment immobile. Deux principes sont à la base de ces stabilisateurs : la stabilisation peut être réalisée par « écrasement » (la zone anastomotique est stabilisée par des palettes appuyées sur le cœur) ^[24] ou par « succion » ou « aspiration » (la zone d’anastomose est stabilisée à l’aide de ventouses qui agissent par aspiration ou succion) ^[50, 54].

■ Points de suspension péricardique

Une série de points de suspension placée bas dans le péricarde permet de verticaliser le cœur, le cœur battant (pointe du cœur en l’air). Cette verticalisation donne accès à la face postérolatérale du myocarde, autorisant la revascularisation des artères marginale, IVP et rétroventriculaire. Ces points de suspension péricardique ont rendu possible la réalisation de revascularisation complète sans CEC alors que, initialement, cette technique était réservée à des revascularisations de la face antérieure ^[24].

■ Shunts intracoronaires

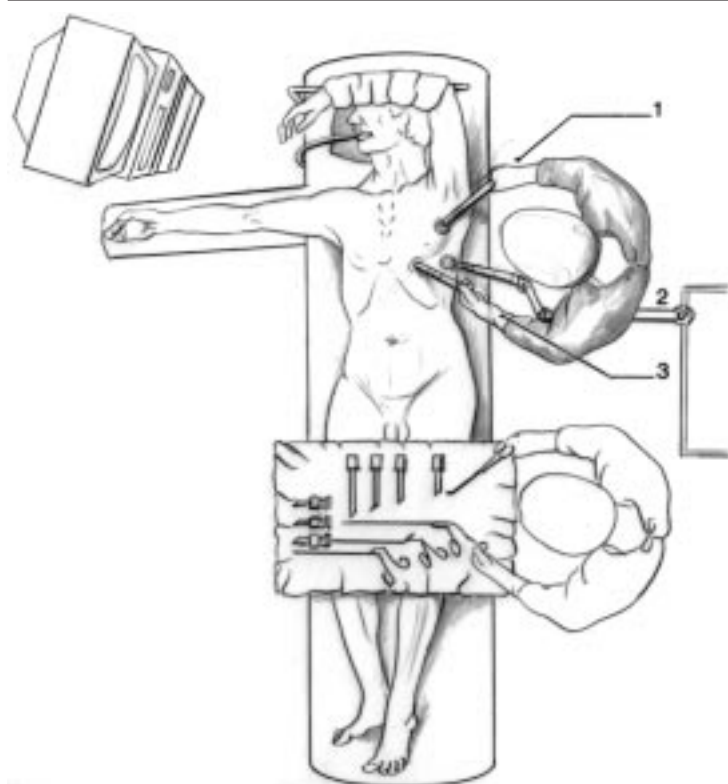
La coronaire ayant un certain degré d’immobilité (rôle du stabilisateur), le clampage coronaire permet l’obtention d’un champ exsangue, deuxième condition à la réalisation d’une anastomose de bonne qualité. Afin d’éviter l’ischémie induite par le clampage d’une coronaire non occluse, des minishunts intracoronaires ont été réalisés. Ils permettent d’assurer une perfusion de l’aval coronaire lorsque celui-ci est clampé. En pratique, ils ne sont qu’assez rarement indispensables.

La revascularisation est débutée sur l’artère coronaire la plus atteinte et elle est de type séquentielle, chaque artère revascularisée étant mise en charge avant la réalisation du pontage suivant ^[24]. La luxation du cœur battant peut entraîner une instabilité hémodynamique nécessitant une parfaite coordination entre le chirurgien et l’anesthésiste qui doit assurer une volémie optimale et avoir recours si besoin à des drogues vasoconstrictrices. La luxation entraînant parfois un gêne considérable au retour veineux systémique, des pompes d’assistance temporaire droite-droite installées directement dans l’oreillette droite et par voie transtricuspidale dans l’artère pulmonaire sont en cours d’évaluation. Les indications des pontages sans CEC ne sont pas encore bien définies. Leur intérêt premier est pour les patients qui présentent un risque accru sous CEC. Il en est ainsi des patients âgés, insuffisants respiratoires, insuffisants rénaux et en présence d’une aorte ascendante athéromateuse. Mais les indications pour certains peuvent être étendues à l’ensemble des patients de manière systématique, la CEC n’étant utilisée que lorsque l’hémodynamique du patient le nécessite. Cependant, les coronaires de mauvaise qualité, petites, calcifiées ou intramyocardiques peuvent être considérées comme des limites de cette technique.

CHIRURGIE MINI-INVASIVE DIRECTE

La chirurgie mini-invasive directe s’est intéressée à la possibilité de réaliser des monopontages AMIG-IVA sous minithoracotomie à cœur battant, l’objectif étant de limiter l’ouverture thoracique ^[47, 72, 85, 92, 94]. Les avancées qui ont permis cette orientation sont les techniques de vidéoarthroscopie complétées par les minithoracotomies.

Les techniques de vidéoarthroscopie autorisent, sans ouverture sternale, le prélèvement vidéoassisté de l’artère mammaire ^[72]. Trois trocars permettent l’introduction d’une caméra, d’une pince à disséquer, d’une paire de ciseaux bipolaires permettant la dissection, la coagulation en mode bipolaire et la section. L’opérateur effectue intégralement le prélèvement sous thoracoscopie en visualisant la zone opératoire sur écran (*fig 10*).



10 Installation pour un prélèvement mammaire sous vidéothoroscopie.

Les *minithoracotomies* autorisent, par un abord limité, l'ouverture partielle du péricarde, la dissection, la stabilisation, le clampage et l'ouverture de l'IVA, et d'autre part l'utilisation d'instruments conventionnels de microchirurgie pour la réalisation de l'anastomose, l'instrumentation de thoracoscopie n'étant que peu adaptée à cet effet. Elles comprennent les thoracotomies antérieures courtes gauches voire droites, les abords parasternaux^[92] ou les médiastinotomies gauches^[85] (qui donnent un jour satisfaisant sur l'IVA), les ministernotomies en « J » ou en « L » (sternotomie verticale partielle terminée par un refend droit ou gauche dans le quatrième espace intercostal) qui donnent un jour satisfaisant sur la CD ou l'IVA^[47, 85, 92, 94] (fig 11).

Les *revascularisations myocardiques hybrides*. Les techniques MID CABG, réalisées à cœur battant, destinées essentiellement à la seule revascularisation de l'IVA (voire de la CD), situation clinique assez peu fréquente, ont participé au développement du concept nouveau des revascularisations myocardiques hybrides. La revascularisation myocardique est dans ces cas préparée par angioplastie, plus ou moins posée d'endoprothèse sur les CD et CX ou leurs branches, puis complétée secondairement, après arrêt des antiagrégants plaquettaires, par un monopontage AMIG-IVA en MID CABG.

« PORT-ACCESS » CAB

Dans ces techniques, toutes les phases de l'intervention sont réalisées thorax fermé. Elles n'ont été possibles que par la mise au point d'un nouveau concept permettant l'arrêt cardiaque sans ouverture du thorax, le système *heart-port*^[83, 84] (fig 12), et par la mise au point d'une instrumentation spécifique, dont fait partie la robotique^[66], permettant la réalisation d'anastomose coronaire thorax fermé. Il s'agit d'une évolution supplémentaire par rapport aux limitations des MID CABG que sont l'impossibilité d'une revascularisation complète et la nécessité somme toute d'une ouverture, quoique limitée, du thorax. Bien entendu, toutes ces innovations technologiques se complètent et peuvent être utilisées conjointement, la classification proposée n'ayant pour but que de clarifier des procédures aussi diverses que variées.

■ Système « heart-port »

Ses composants de base sont deux canules et trois cathéters :

- une canule artérielle insérée par l'artère fémorale ;

- une canule atriocave insérée par la veine fémorale ;
- un cathéter de clampage endoaortique ;
- un cathéter de décharge endopulmonaire ;
- un cathéter de cardioplégie rétrograde.

La CEC est instituée entre les canules artérielle et atriocave insérées par voie fémorale. Le clampage aortique est assuré par un ballon endoaortique positionné sous contrôle ETO dans l'aorte ascendante de telle sorte que son inflation provoque l'occlusion de l'aorte sans obstruction ni des ostia coronaires ni des vaisseaux à destinée céphalique. La protection myocardique est assurée par l'injection de cardioplégie soit par voie antérograde, grâce à une lumière du cathéter de clampage endoaortique, soit par voie rétrograde directement dans le sinus coronaire canulé par voie jugulaire avec le cathéter qui lui est destiné. La décharge des cavités cardiaques est assurée soit par le cathéter endopulmonaire inséré par voie jugulaire, soit par une lumière du cathéter de clampage endoaortique.

■ Chirurgie assistée par la robotique

La robotique a fait son apparition en chirurgie cardiovasculaire. Deux systèmes sont actuellement disponibles. Le chirurgien dirige la manœuvre du « robot », à distance du patient, par le biais d'une console. Cette innovation technologique, d'une sophistication inégalée, permet une très bonne précision dans les gestes réalisés. À la différence de l'instrumentation de vidéothoroscopie, peu adaptée à la réalisation d'anastomose coronaire, l'instrumentation robotique permet à la fois le prélèvement des artères mammaires, mais aussi la réalisation des anastomoses. Associée au système de CEC *heart-port*, la robotique permet donc de réaliser sur un cœur arrêté des pontages coronaires sans ouverture du thorax. Dans ce qu'il convient de nommer la chirurgie coronaire mini-invasive, *heart-port* et robotique, notamment lorsqu'ils sont associés, sont donc à l'extrême opposé des pontages sans CEC sous sternotomie. Malgré cet apparent paradoxe, l'un comme l'autre semblent être appelés à se développer.

Résultats

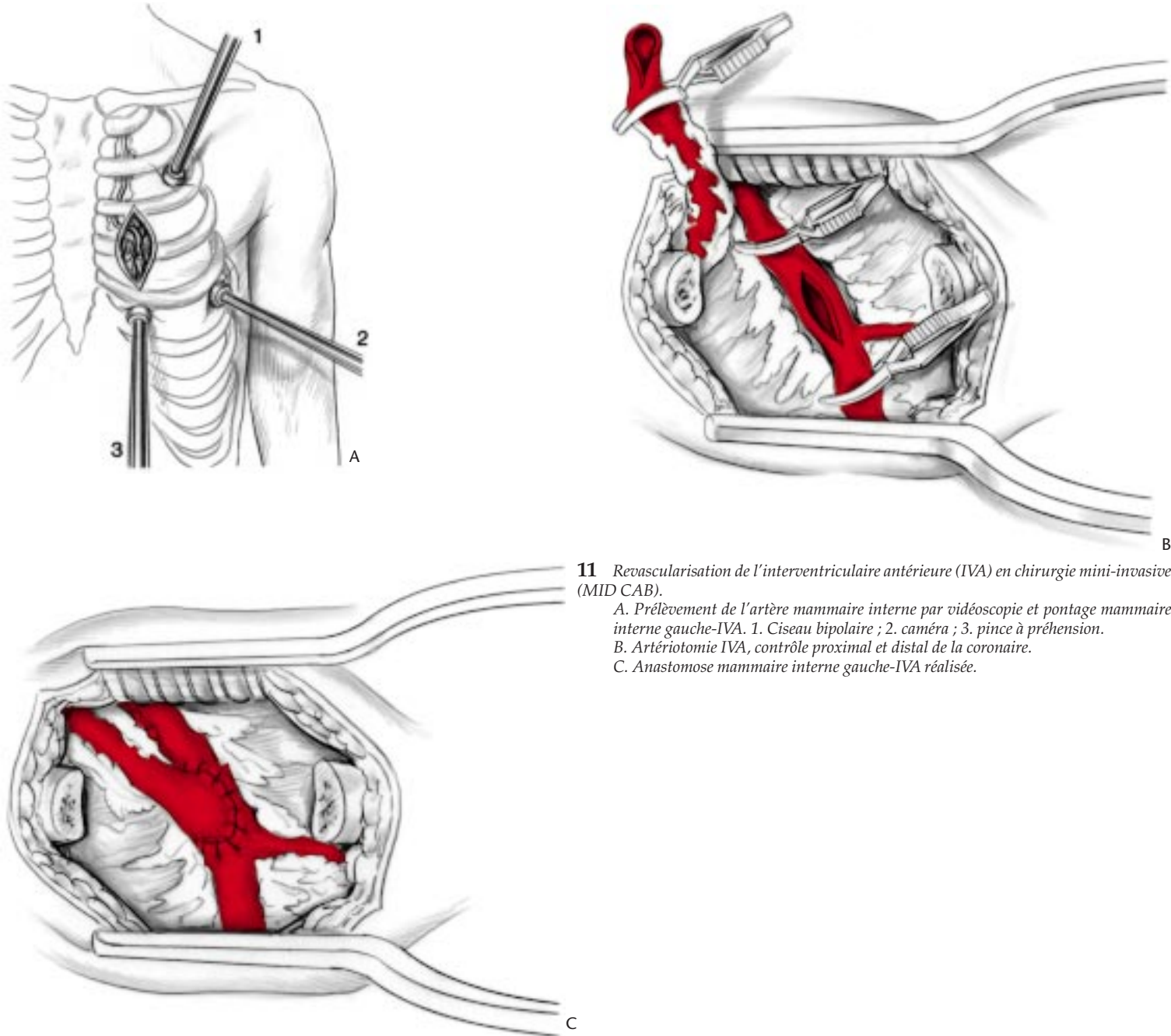
SUITES HABITUELLES EN CHIRURGIE CORONAIRE

Les suites opératoires sont généralement simples en chirurgie coronaire et l'heure est au *fast-track*. Quatre-vingt dix pour cent des patients programmés séjournent moins de 24 heures en réanimation. Des protocoles d'anesthésie permettant le réveil et l'extubation précoces des patients ont réduit la durée de ventilation assistée à 4 heures postopératoires. L'alimentation par voie orale est reprise le soir même de l'intervention. Le système de drainage médiastinal est généralement enlevé le lendemain de l'intervention, la perfusion le jour suivant. Il n'est plus exceptionnel de signer une sortie du service d'hospitalisation dès le cinquième jour, la durée moyenne étant de 6 à 7 jours. Les programmes de réadaptation cardiovasculaire sont de plus en plus souvent réalisés en externe.

MORTALITÉ OPÉRATOIRE

La mortalité opératoire a progressivement diminué pendant les deux premières décennies de la chirurgie coronaire, descendant à des chiffres de l'ordre de 1 % pour réaugmenter secondairement au cours de la troisième décennie du fait de la gravité croissante des patients. Elle est actuellement de l'ordre de 3 % pour l'ensemble des opérés et reste entre 1 et 2 % pour les patients opérés en dehors de l'urgence. Les facteurs de mortalité sont :

- les réinterventions : la mortalité opératoire des réinterventions reste deux à trois fois plus élevée que celle des primo-interventions, c'est-à-dire de 8 à 10 % ;
- la fonction ventriculaire gauche : la mortalité opératoire est d'autant plus importante que la FE est basse ; pour des FE inférieures à 30 %, la mortalité opératoire reste de l'ordre de 8 %^[5, 61] ;



11 Revascularisation de l'interventriculaire antérieure (IVA) en chirurgie mini-invasive (MID CAB).

A. Prélèvement de l'artère mammaire interne par vidéoscopie et pontage mammaire interne gauche-IVA. 1. Ciseau bipolaire ; 2. caméra ; 3. pince à préhension.
B. Artériotomie IVA, contrôle proximal et distal de la coronaire.
C. Anastomose mammaire interne gauche-IVA réalisée.

- l'urgence : l'instabilité de l'angor, les échecs d'angioplastie et a fortiori les infarctus en constitution sont grevés d'une mortalité nettement augmentée ;
- l'âge : la mortalité opératoire augmente avec l'âge, 5 % après 70 ans ;
- le sexe : le risque opératoire est plus important chez les patients de sexe féminin, notamment du fait de la petitesse des artères coronaires ;
- les facteurs importants de comorbidité : ils aggravent le pronostic opératoire ;
- la sévérité des lésions coronaires, notamment les lésions du tronc commun, les lésions tritrunculaires mais aussi la qualité des avals coronaires (risque de mortalité plus important en cas d'endartériectomie coronaire de nécessité).

MORBIDITÉ

■ Infarctus périopératoire

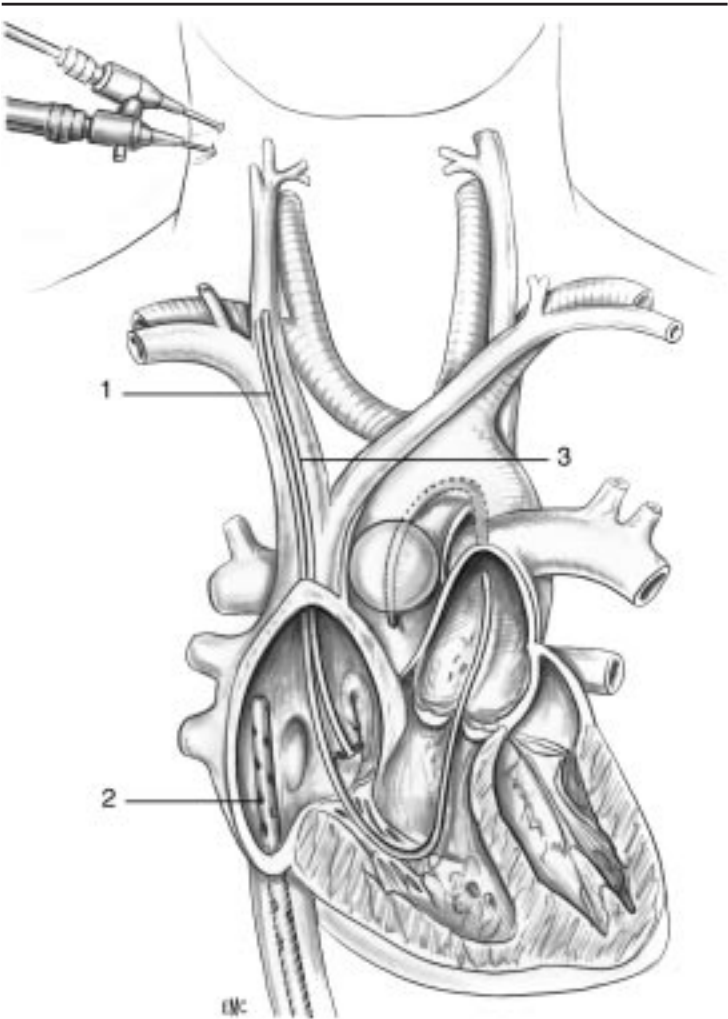
La fréquence des infarctus périopératoires, diversement appréciée selon les critères diagnostiques retenus, est de l'ordre de 5 %. Les principales causes sont :

- une mauvaise protection myocardique (qui provoque une souffrance myocardique diffuse plutôt qu'un infarctus proprement dit) ;
- une occlusion aiguë de pontage ;
- une thrombose coronaire aiguë, des embolies coronaires ou un spasme sur un greffon artériel.

Ces infarctus périopératoires peuvent être, et c'est souvent le cas, cliniquement muets, de découverte enzymatique et électrique. Cependant, les infarctus périopératoires restent la cause principale de mortalité en chirurgie coronaire par bas débit et troubles du rythme induits. La mortalité opératoire en cas d'infarctus périopératoire est supérieure à 10 % (tableau XII).

■ Bas débit et défaillance myocardique

De cause multifactorielle, ils sont le plus souvent dus à un défaut de protection, plus qu'à un infarctus périopératoire. Ils sont d'autant plus fréquents qu'il existe une dysfonction ventriculaire gauche préexistante. Leur survenue est souvent différée de 3 à 6 heures après le retour du patient en réanimation. L'équilibre hémodynamique et l'ETO précisent le diagnostic et surveillent



12 Système heart-port.
1. Cathéter de décharge artère pulmonaire ; 2. canule atriocave (percutanée fémorale) ;
3. cathéter de cardioplégie rétrograde.

Tableau XII. – Morbidité opératoire.				
	Infarctus périopératoire (%)	Complications neurologiques (%)	Complications pariétales (%)	Réopération pour saignement (%)
Registre vétéran	3,4	2,1	1,6	3,1
BARI	4,6	0,8	4,1	3,1
EAST	10,3	1,5	2,1	1,5

l'évolution sous traitement médical, voire contre pulsion. La contre pulsion intra-aortique est l'assistance la plus simple et la plus utilisée, pouvant être mise en place par voie percutanée, soit au bloc opératoire, soit en réanimation. L'augmentation du débit de perfusion coronaire qu'elle provoque permet notamment de ne pas augmenter de manière inconsidérée les drogues inotropes. Son utilisation à titre systématique dès la période préopératoire améliore les suites des patients à fonction ventriculaire sévèrement altérée. Les assistances circulatoires uni- ou biventriculaires ne sont réservées qu'aux échecs des méthodes précitées.

■ Complications neurologiques

La survenue d'un accident neurologique peut être due à un phénomène hypoxique, à un phénomène embolique, à un phénomène hémorragique ou à des anomalies métaboliques [3, 101, 106]. Ces accidents peuvent être divisés en deux types :

- le type I correspond au déficit neurologique focalisé et au coma ;

- le type II correspond aux détériorations des fonctions primitives supérieures.

Leur fréquence globale est de 6 % après chirurgie cardiaque, approximativement également répartis entre les deux types. L'âge et l'hypertension artérielle sont les facteurs de risque principaux de survenue d'accident neurologique. Le type I est particulièrement le lot des patients polyathéromateux pour lesquels le chirurgien peut espérer des actions préventives : dépistage et prise en charge des lésions carotidiennes, précaution de manipulation, voire *no touch technique* en cas d'aorte ascendante athéromateuse.

■ Médiastinite

Cette complication est rare, de 1 à 4 %, mais grave puisque la mortalité dans ce groupe est de 20 à 25 %. Les facteurs de risque de la médiastinite sont le prélèvement bimammaire, le diabète, l'obésité, les réinterventions, la durée et la complexité du geste opératoire. La spécificité de la chirurgie coronaire vis-à-vis de la médiastinite est représentée par une fréquence accrue lors de prélèvements bimammaires. Le prélèvement d'une manière squelettique des artères mammaires pourrait diminuer ce risque.

■ Complications hémorragiques

Présentes dans toute chirurgie cardiaque, les complications hémorragiques intéressent la chirurgie coronaire. Leur fréquence est de 1 à 3 %. Leur origine peut être un défaut d'hémostase chirurgical, un déficit d'hémostase biologique, une hypertension artérielle postopératoire. Le risque de cette complication, outre l'hémorragie en elle-même, est l'apparition d'un syndrome de tamponnade (le système de drainage pouvant devenir inopérant). La spécificité des complications hémorragiques lors de la chirurgie coronaire réside dans l'importance du nombre de sites de saignements chirurgicaux possibles (anastomoses multiples, prélèvements mammaires, clip sur les collatérales...) et sur le fait que de nombreux patients sont opérés sous anti-agrégants plaquettaires.

■ Complications pulmonaires

Il peut s'agir d'œdème, d'atélectasie, de surinfection bronchique, de pneumopathie infectieuse et d'épanchements pleuraux. Elles sont notamment fréquentes en présence d'une bronchopneumopathie obstructive ; c'est dire l'importance d'une kinésithérapie pré- et postopératoire, de la levée en peropératoire de toute bande d'atélectasie par la reprise sous contrôle visuel de la ventilation en fin d'intervention, de l'importance d'une toux efficace favorisée par un contrôle de la douleur postopératoire. Une des spécificités de la chirurgie coronaire vis-à-vis des complications pulmonaires est le risque d'atteinte du ou des nerfs phréniques, notamment lors des prélèvements mammaires.

■ Complications digestives

Le patient coronarien polyathéromateux présente un risque accru d'ischémie mésentérique lors de tout bas débit per- ou postopératoire. La survenue d'une telle complication est favorisée par la présence de sténose des artères et/ou des suppléances mésentériques. Même non définitives, n'aboutissant pas à un infarctus mésentérique constitué, ces ischémies n'en demeurent pas moins graves par les phénomènes de translocations microbiennes qu'elles induisent.

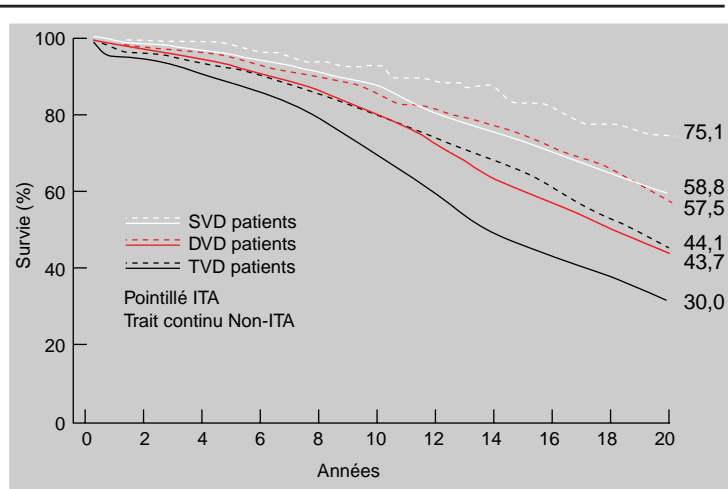
RÉSULTATS À LONG TERME

Les résultats à long terme de la chirurgie coronaire sont fonction :

- de la sévérité de l'atteinte cardiaque préopératoire ;
- de la qualité de la revascularisation chirurgicale ;
- de la progression de la maladie athéromateuse ;
- des pathologies non cardiaques associées.

■ Espérance de vie

L'augmentation de l'espérance de vie des patients après chirurgie est d'autant plus manifeste que l'atteinte coronarienne et



13 Survie à 20 ans après pontage coronaire (d'après Ischemic heart disease : surgical management. Mosby). SVD : monotronculaire ; DVD : bitronculaire ; TVD : tritronculaire ; ITA : artère mammaire interne.

ventriculaire est sévère, ce qui correspond aux indications non discutées de revascularisation chirurgicale : sténose du tronc commun ou équivalent, lésion tritronculaire, lésion bitronculaire avec atteinte de l'IVA proximale, altération de la fonction ventriculaire gauche^[61]. La survie à long terme dépend également de la perméabilité des greffons utilisés (fig 11). La présence de l'AMIG sur l'IVA est le principal facteur améliorant la survie^[18, 20, 37, 108]. Le bénéfice d'une revascularisation myocardique utilisant les deux AMI est désormais démontré pour des suivis au-delà de 8 ans^[67] (fig 13).

■ **Qualité de vie**

Les bénéfices de la revascularisation chirurgicale sur la qualité de vie des patients sont manifestes. Sont considérés comme indice d'efficacité :

- l'évolution de la symptomatologie fonctionnelle ;
- l'évolution de la fonction ventriculaire ;
- la reprise d'une activité professionnelle ;
- le taux de réhospitalisation en milieu cardiologique.

Symptomatologie fonctionnelle : à 1 an, 80 % des patients sont asymptomatiques, 96 % sont améliorés, seuls 4 % ne sont pas améliorés.

Fonction ventriculaire : la revascularisation myocardique chirurgicale permet une récupération de certains troubles de la contractilité segmentaire.

■ **Récidive angineuse**

Le taux de récurrence angineuse après chirurgie coronaire est de 3 à 7 % par an. À 5 ans, 17 à 35 % des opérés présenteraient à nouveau des manifestations angineuses. Ces chiffres sont issus de séries anciennes dans lesquelles les pontages étaient essentiellement réalisés à l'aide de greffon saphène. L'athérosclérose des greffons saphènes représente la première cause de récurrence angineuse, la progression de la maladie athéromateuse n'étant que secondaire. L'angor récidivant se manifeste dans 80 % des cas de manière aiguë et survient en moyenne 8 ans après la revascularisation, ce qui correspond au temps évolutif des pontages saphènes. Ces données ne peuvent que souligner l'importance de l'utilisation de greffons artériels lors de l'intervention initiale, l'importance de la prise en charge des facteurs de risque de la maladie coronaire en postopératoire, et l'importance d'un suivi médical continu des patients opérés.

Références

[1] Acar C, Jebara VA, Portoghese A, Beyssen B, Pagny JY, Grare P et al. Revival of the radial artery for coronary bypass grafting? *Ann Thorac Surg* 1992 ; 54 : 652-660

[2] Acar C, Jebara VA, Portoghese A, Fontaliran F, Dervanian P, Chachques JC et al. Comparative anatomy and histology of the radial artery and the internal thoracic artery: implication for coronary bypass. *Surg Radiol Anat* 1991 ; 13 : 383-388

[3] ACC/AHA practice guidelines. ACC/AHA Guidelines for coronary artery bypass graft surgery. *Circulation* 1999 ; 100 : 1464-1480

[4] Akins CW, Moncure AC, Daggett WM, Cambria RP, Hilgenberg AD, Torchiana DF et al. Safety and efficacy of concomitant carotid and coronary artery operations. *Ann Thorac Surg* 1995 ; 60 : 311-318

[5] Alderman EL, Fisher LD, Litwin P, Kaiser GC, Myers WO, Maynard C et al. Results of coronary artery surgery in patients with poor left ventricular function (CASS). *Circulation* 1983 ; 68 : 785-795

[6] Baehrel B, Gandjbakhch I, Place S et al. L'endartériectomie coronaire associée au pontage dans les lésions coronariennes sévères. A propos de 50 observations. *Arch Mal Cœur* 1975 ; 68 : 669-676

[7] Bailey CP, May A, Lemon WM. Survival after coronary endarterectomy in man. *JAMA* 1957 ; 164 : 641-646

[8] Barbour D, Roberts W. Additional evidence for relative resistance to atherosclerosis of the internal mammary artery compared to saphenous vein when used to increase myocardial blood supply. *Am J Cardiol* 1985 ; 56 : 488

[9] Barilla F, Gheorgiade M, Alam M, Khaia F, Goldstein S. Low dose Dobutamine in patients with acute myocardial infarction identifies viable but not contractile myocardium and predicts the magnitude of improvement in wall motion abnormalities in response to coronary revascularization. *Am Heart J* 1992 ; 122 : 1522-1531

[10] Barra JA, Bezon E, Mansourati J, Rukbii Mondine P, Youssef Y. Reimplantation of the right internal thoracic artery as a free graft into the left in situ internal thoracic artery (Y procedure). One-year angiographic results. *J Thorac Cardiovasc Surg* 1995 ; 109 : 1042-1408

[11] Beck CS. The development of a new blood supply to the heart by operation. *Ann Surg* 1935 ; 102 : 801

[12] Benetti FJ, Naseli G, Wood M, Geffner L. Direct myocardial revascularization without extracorporeal circulation: experience in 700 patients. *Chest* 1991 ; 100 : 310-316

[13] Bonow RO, Dilsizian V, Cuocolo A, Bacharach SL. Identification of viable myocardium in patients with chronic coronary artery disease and left ventricular dysfunction. Comparison of thallium scintigraphy with reinjection and PET imaging with 18F-fluorodeoxyglucose. *Circulation* 1991 ; 83 : 26-37

[14] Brenowitz JB, Kaiser KL, Johnson WD. Results of coronary artery endarterectomy and reconstruction. *J Thorac Cardiovasc Surg* 1988 ; 95 : 1-10

[15] Buche M, Schroeder E, Chenu P, Gurme O, Marchandise B, Pompilio G et al. Revascularization of the circumflex artery with the pedicled right internal thoracic artery: clinical functional and angiographic midterm results. *J Thorac Cardiovasc Surg* 1995 ; 110 : 1338-1343

[16] Buche M, Schroeder E, Gurme O, Chenu P, Paquay JL, Marchandise B et al. Coronary artery bypass grafting with the inferior epigastric artery: midterm clinical and angiographic results. *J Thorac Cardiovasc Surg* 1995 ; 109 : 553-560

[17] Bypass angioplasty revascularization investigation investigator. (BARI) Comparison of coronary bypass surgery with angioplasty in patients with multivessel disease. *N Engl J Med* 1996 ; 335 : 217-225

[18] Calafiore AM, Di Giammarco G, Luciani N, Maddestra N, Di Nardo E, Angelini R. Composite arterial conduits for a wider arterial myocardial revascularization. *Ann Thorac Surg* 1994 ; 58 : 185-190

[19] Cameron A, Davis K, Green G, Myers W, Pettinger M. Clinical implications of internal mammary artery bypass grafts: the coronary artery surgery study experience. *Circulation* 1988 ; 77 : 815-819

[20] Cameron A, Green G, Brogno D, Thornton J. Internal thoracic artery grafts : 20-year clinical follow-up. *J Am Coll Cardiol* 1995 ; 25 : 188-192

[21] Campeau L, Enjalbert M, Lesperance J, Vasilic C, Grondin C, Bourassa M. Atherosclerosis and late closure of aorto-coronary saphenous vein grafts: sequential angiographic studies at 2 weeks, 1 year, 5 to 7 years, and 10 to 12 years after surgery. *Circulation* 1983 ; 68 (3 pt 2) : 111-117

[22] Carpentier A, Guernonprez JL, Deloche A, Frechette C, Dubost C. The aorta-to-coronary radial bypass graft: a technique avoiding pathological changes in grafts. *Ann Thorac Surg* 1973 ; 16 : 111-121

[23] Carpentier S, Murawsky M, Carpentier A. Cytotoxicity of cardioplegic solution: evaluation by tissue culture. *Circulation* 1981 ; 64 (suppl II) : 90-95

[24] Cartier R, Stacey B, Dagenais F, Martineau R, Couturier A. Systematic off-pump coronary artery revascularization in multivessel disease: Experience of three hundred cases. *J Thorac Cardiovasc Surg* 2000 ; 119 : 221-229

[25] Chardigny C, Jebara VA, Acar C, Descombes JJ, Verbeuren TJ, Carpentier A et al. Vasoreactivity of the radial artery. Comparison with the internal mammary and gastroepiploic arteries with implications for coronary artery surgery. *Circulation* 1993 ; 88 (5 Pt 2) : 115-127

[26] Chouraqui P, Rabinowitz B, Livschitz S, Horoszowsky D, Kaplinsky E, Smolinsky A. Effect of antegrade versus combined antegrade/retrograde cardioplegia on postoperative septal wall motion in patients undergoing open heart surgery. *Cardiology* 1997 ; 88 : 526-529

[27] Clark RE. Calculating risk and outcome: the society of thoracic surgeons database. *Ann Thorac Surg* 1996 ; 62 (suppl 5) : S2-S5

[28] Coronary angioplasty versus bypass revascularization investigation (CABRI). *Lancet* 1995 ; 346 : 1179-1184

[29] Coronary artery surgery study. *Circulation* 1990 ; 82 : 1629-1646

[30] De Leiris J, Charlon V. Perturbations métaboliques engendrées par l'ischémie myocardique: implications des radicaux libres de l'oxygène. *Ann Cardiol Angéiol* 1986 ; 35 : 427-431

[31] Detrano R, Janosi A, Lyons KP, Marcondes G, Abbassi N, Froelicher VF. Factors affecting sensitivity and specificity of a diagnostic test: the exercise thallium scintigram. *Am J Med* 1988 ; 84 : 699-710

[32] Dion R, Etienne PY, Verhelst R, Khoury G, Rubay J, Betten-dorff P et al. Bilateral mammary grafting. Clinical, functional and angiographic assessment in 400 consecutive patients. *Eur J Cardiothorac Surg* 1993 ; 7 : 287-294

[33] Dion R, Verhelst R, Rousseau M, Goenen M, Poulot R, Kestens-Servay V et al. Sequential mammary artery grafting: clinical, functional and angiographic assessment 6 months postoperatively in 231 consecutive patients. *J Thorac Cardiovasc Surg* 1989 ; 98 : 80-89

[34] Dubost C, Blondeau P, Piwnica A et al. Syphilitic coronary obstruction. Correction under artificial heart-lung and profound hypothermia at 10°C. *Surgery* 1960 ; 48 : 540-547

[35] Edwards F, Clark R, Schwartz M. Coronary artery bypass grafting: the society of thoracic surgeons national database experience. *Ann Thorac Surg* 1994 ; 57 : 12-19